



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-9554-TDI/830

**ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DE SEGMENTAÇÃO (IAVAS):  
UMA APLICAÇÃO EM AGRICULTURA**

Julio Cesar de Oliveira

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Antonio Roberto Formaggio e pelo Dr. José Carlos Neves Epiphanyo,  
aprovada em 29 de abril de 2002

INPE  
São José dos Campos  
2003

528.727.7

OLIVEIRA, J. C.

Índice para avaliação de segmentação (IAVAS): uma aplicação em agricultura / J. C. Oliveira. – São José dos Campos: INPE, 2002.

160p. (INPE-9554-TDI/830).

1.Sensoriamento remoto. 2.Processamento de imagem. 3.Segmentação de imagem. 4. Landsat. 5. Agricultura. I.Titulo.

Aprovado pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de **Mestre em Sensoriamento Remoto.**


Dr. Gerald Jean Francis Banon



---

Presidente/INPE/SJCampos-SP

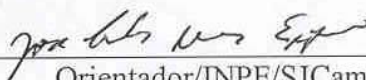
Antônio Roberto Formaggio



---

Orientador/INPE/SJCampos-SP

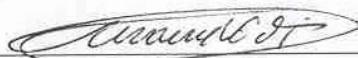
Dr. José Carlos Neves Epiphânio



---

Orientador/INPE/SJCampos-SP

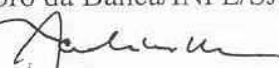
Maurício Alves Moreira



---

Membro da Banca/INPE/SJCampos-SP

Dr. Jansle Vieira da Rocha



---

Membro da Banca  
Convidado UNICAMP, Campinas-SP

Candidato: Júlio César de Oliveira

São José dos Campos, 29 de abril de 2002.



***DEDICO COM CARINHO E GRATIDÃO***

A meus pais, Laerte de Oliveira (In memoriam) e Maria dos S. Ribeiro;

A meus irmãos Paulo, Karla e Charles;

À Fernanda pelo amor, paciência, compreensão e carinho em todos os momentos.



## **AGRADECIMENTOS**

Ao INPE e à CAPES pela oportunidade de realização do meu Mestrado.

Ao Dr. Antônio Roberto Formaggio e ao Dr. José Carlos Neves Epiphânio, pela orientação, pelo respeito e pela confiança depositada.

À equipe da Pós-Grauação em Sensoriamento Remoto, em especial ao professor Flávio Jorge Ponzoni, pelo incentivo e à Etel pelo apoio e atenção proporcionada. À Divisão de Processamento de Imagens, em especial ao Dr. João Argemiro de Carvalho Paiva, Guaraci José Erthal e Leonardo Santanna Bins pela atenção e apoio na análise dos dados.

Aos amigos João Almiro, Rodrigo Rizzi, Chico, Waldiza, Mariza, Eliana Fonseca, George, Aragão, Paulo Graça, Emiliano, Aditya, Alessandro, Salete e Dimitri pela amizade e companheirismo de incontáveis momentos e, principalmente, pelo apoio e incentivo.

A todos da turma de 2000 e demais colegas do curso de pós-graduação que acreditaram e contribuíram para a consecução deste trabalho.

Ao José Marinaldo Gleriani e à FAPESP pelo apoio no trabalho de campo.

À minha família, pela confiança, colaboração e constante incentivo.

Em especial ao Alfredo J. B. Luiz pelo exemplo de profissionalismo, competência e dedicação, pela atenção despendida e pelo conhecimento compartilhado durante a execução deste trabalho.

A todos que diretamente ou indiretamente colaboraram para a conclusão deste trabalho.

A Deus por sua eterna orientação.

Minha eterna gratidão.





## RESUMO

A procura de maior objetividade nas estimativas das áreas agrícolas por meio de técnicas de sensoriamento remoto vem ganhando importância mundial, onde se busca obter resultados com maior antecedência, maior precisão e menor custo quando comparados aos resultados gerados pelas técnicas subjetivas tradicionalmente utilizadas. Considerando a importância da determinação da superfície cultivada em um sistema de previsão de safras, torna-se fundamental a obtenção desse levantamento de uma forma cada vez mais objetiva e confiável. Analisando as áreas agrícolas em contexto amplo (nos níveis municipal ou estadual) e considerando a abrangência dos dados orbitais, a extração dos limites dos talhões por algoritmos segmentadores representa um passo essencial no processo de avaliação de áreas agrícolas e classificação do uso/cobertura do solo. Partindo da hipótese de que a técnica de classificação de imagens por regiões, associada aos dados oriundos de sensoriamento remoto, é um meio eficaz para estimar área plantada, a presente pesquisa tem como objetivo geral o desenvolvimento um *sistema quantitativo para avaliação* dos resultados gerados no processo de segmentação de imagens digitais. Tal sistema de avaliação baseia-se em medidas de discrepância, em relação a um dado de referência, dos seguintes parâmetros: *número de polígonos; comprimento total de linhas; variância das áreas dos polígonos; centro de massa mais próximo e faixa de coincidência*. A metodologia aqui apresentada define também critérios para a escolha dos limiares (similaridade e área) para o algoritmo de segmentação por crescimento de regiões, bem como a análise do comportamento desses limiares sobre o produto da segmentação. A área de estudo na presente pesquisa corresponde aos municípios de Ipuã, Guará e São Joaquim da Barra localizados no norte do Estado de São Paulo, os quais representam significativamente as condições gerais da agricultura do Estado. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o sistema quantitativo proposto mostrou-se competente no processo de avaliação dos resultados gerados pelo algoritmo segmentador. O par de limiares 16/24 (similaridade / área) forneceu a melhor segmentação para a área de estudo com base nos dados de referência obtidos no levantamento de campo. Porém, ao adotar a interpretação visual pelo operador como dado de referência para a avaliação da segmentação, os pares de limiares 16/44 e 16/45 proporcionaram as melhores segmentações.



**AN INDEX FOR EVALUATION OF DIGITAL IMAGERY SEGMENTATION  
(IAVAS):  
APPLICATION IN AGRICULTURE**

**ABSTRACT**

Remote sensing techniques are being increasingly used for obtaining more rapid, accurate and cheap agricultural statistics comparing with the current subjective used methodologies. One important aspect of these methodologies is the estimation of the crop areas that must be made in an objective way. Orbital data may allow approaches in the municipality or in the county levels, so that the use of segmentation algorithms for extracting the crop plots limits is an essential step in the process of agricultural land use classification. Thus, the main objective of the present research is the development of a quantitative method for evaluating results of orbital imagery segmentation. Such an evaluation system is based on discrepancy measures of following reference parameters: number of polygons; total line lengths; polygon areas variance; closer mass center and certain overlaying region. Proposed methodology also defines criteria for selecting thresholds (area and similarity) for the used segmentation algorithm that was a region growth one. The study area corresponded to Ipuã, Guar and São Joaquim da Barra municipalities in the north of São Paulo State, Brazil, representing significantly the agricultural conditions of this State. From the obtained results it was verified that the proposed quantitative methodology was suitable and competent for defining the segmentation thresholds. The area/similarity thresholds pair 16/24 provided the best segmentation results for the study area when considering reference data obtained with field data. But, when reference data were obtained by the user through manual interpretation, the thresholds that produced the best segmentation results were 16/44 and 16/45.



## SUMÁRIO

	Pág.
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>LISTA DE TABELAS</b>	
<b>LISTA DE SIGLAS</b>	
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>25</b>
2.1 - Estimativa de áreas agrícolas.....	25
2.2 - Estimativas de áreas cultivadas no Brasil.....	27
2.2.1 - Levantamento agrícola para o Estado de São Paulo.....	27
2.3 - Sensoriamento remoto da agricultura.....	28
2.4 - Pré-processamento de imagens.....	30
2.4.1 - Correção geométrica.....	30
2.4.2 - Registro.....	32
2.5 - Realce de imagens.....	33
2.5.1 - Contraste.....	33
2.6 - Segmentação de imagens.....	33
2.6.1 - Algoritmo crescimento de regiões.....	34
2.6.1.1 - Definição dos limiares de similaridade e área.....	38
2.6.2 - Métodos para avaliação dos algoritmos de segmentação.....	40
2.6.2.1 - Qualitativo versus quantitativo e subjetivo versus objetivo.....	43
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODO.....</b>	<b>45</b>
3.1 - Área de estudo.....	45
3.2 - Material.....	46
3.2.1 - Dados de sensoriamento remoto.....	46
3.2.2 - Materiais cartográficos.....	47
3.2.3 - Equipamentos e software.....	47
3.3 - Metodologia.....	48
3.3.1 - Definição do tipo de aplicação.....	49
3.3.2 - Registro.....	50
3.3.3 - Limites da área de estudo.....	51
3.3.4 - Imagem de referência.....	52
3.3.5 - Área testes representativas da área de estudo.....	54
3.3.5.1 – Área teste nº 1.....	54
3.3.5.2 – Área teste nº 2.....	54
3.3.6 - Segmentação por crescimento de regiões.....	56
3.3.7 - Otimização do espaço de combinações.....	57
3.3.8 - Análise quantitativa.....	60
3.3.8.1 – Parâmetros de avaliação.....	61
3.3.9 - Determinação dos parâmetros de discrepância sobre as imagens segmentadas.....	66

3.3.10 - Índice para avaliação de segmentação (IAVAS).....	74
3.3.11 - Análise dos resultados entre áreas testes.....	76
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>79</b>
4.1 - Registro da imagem ETM+.....	79
4.2 - Imagens de referência.....	79
4.2.1 – Referência de campo.....	80
4.2.1.1 - Levantamento da referência de campo na área teste nº 1.....	80
4.2.1.2 - Levantamento da referência de campo na área teste nº 2.....	81
4.2.2 – Referência de tela.....	82
4.3 - Índice IAVAS com base na referência de campo.....	84
4.3.1 - Área teste nº 1.....	84
4.3.2 - Área teste nº 2.....	93
4.3.3 - Análise dos resultados obtidos sobre as áreas testes com base na referência de campo.....	96
4.4 - Índice IAVAS com base na referência de tela.....	100
4.4.1 - Área teste nº 1.....	100
4.4.2 - Área teste nº 2.....	103
4.4.3 - Análise dos resultados obtidos sobre as áreas testes com base na referência de tela.....	105
4.5 - Análise dos limiares.....	108
4.6 - Referência de campo X Referência de tela - vantagens e desvantagens.....	117
4.7 - Análise da eficiência do processo de otimização do espaço de combinações.....	119
4.8 - Segmentação para a área de estudo.....	124
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>127</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>131</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>141</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>143</b>
<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>145</b>
<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>147</b>
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>149</b>
<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>151</b>
<b>APÊNDICE G.....</b>	<b>155</b>
<b>APÊNDICE H.....</b>	<b>157</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>159</b>

## LISTA DE FIGURAS

3.1 - Esquema de localização da área de estudo no Estado de São Paulo. ....	46
3.2 - Diagrama esquemático da metodologia .....	49
3.3 - Área teste 1 - Imagem ETM+ - 14/08/01 – 4(R)5(G)3(B). ....	55
3.4 - Área teste 2 - Imagem ETM+ - 14/08/01 – 4(R)5(G)3(B). ....	55
3.5 - Representação da divisão do universo de combinações de limiares de similaridade e área, com o posicionamento de seus respectivos elementos centrais. ....	58
3.6 - Ilustração das 4 combinações possíveis que definem o elemento central de célula. ....	58
3.7 - Divisão da célula de melhor resultado em quadrantes com os respectivos limiares. ...	59
3.8 - 25 combinações entre os limiares em torno do melhor par definido na segunda etapa do processo de otimização de combinações. ....	60
3.9 - Parâmetro número de polígonos: a) segmentação insuficiente; b) segmentação excessiva. ....	62
3.10 - Segmentos com diferentes medidas de comprimento. ....	64
3.11 - Imagens com diferentes valores para variância da área. ....	64
3.12 - Centros de massa dos polígonos. ....	65
3.13 - Faixa de coincidência entre polígonos. ....	66
3.14 - Número de polígonos na ImgSeg4050. ....	67
3.15 - Comprimento das linhas na ImgSeg4050. ....	68
3.16 - Centros de massa da ImgSeg4050. ....	69
3.17 - Distância entre os centros de massa: a) distância euclidiana entre os centros; b) menor distância entre os centros de massa. ....	70
3.18 - Procedimentos para determinação da faixa de coincidência. ....	73
4.1 - Pontos GPS coletados na área teste nº 1. ....	80
4.2 - Referência de campo da área teste nº 1. ....	81

4.3 - Pontos GPS coletados na área teste nº 2.....	82
4.4 - Referência de campo da área teste nº 2. ....	82
4.5 - Referência de tela da área teste nº 1. ....	83
4.6 - Referência de tela da área teste nº 2. ....	83
4.7 - Conjunto inicial de limiars definidos pelo processo de otimização. ....	85
4.8 - Divisão da célula C09 em 4 quadrantes.....	87
4.9 - 25 combinações possíveis do quadrante Q3.....	89
4.10 - Pares de limiars definidos pelo método de avaliação das segmentações na área 1 através do índice IAVAS (imagem referência de campo) e do processo de otimização do espaço de combinações.....	92
4.11 - Imagem segmentada da área 1, com os limiars 12 / 40, e sobreposta à imagem ETM+. ....	92
4.12 - Pares de limiars definidos pelo método de avaliação das segmentações na área 2 por meio do índice IAVAS (imagem referência de campo) e do processo de otimização do espaço de combinações.....	95
4.13 - Imagem segmentada da área 2, com os limiars 16 / 23, e sobreposta à imagem ETM+. ....	96
4.14 - Pares de limiars definidos pelo método de avaliação das segmentações na área 1 através do índice IAVAS (imagem referência de tela) e do processo de otimização do espaço de combinações.....	102
4.15 - Imagem segmentada da área 1, com os limiars 16 / 45, e sobreposta à imagem ETM+. ....	102
4.16 - Pares de limiars definidos pelo método de avaliação das segmentações na área 2 através do índice IAVAS (imagem referência de tela) e do processo de otimização do espaço de combinações. ....	103
4.17 - Imagem segmentada da área 2, com os limiars 16 / 33, e sobreposta à imagem ETM+. ....	105
4.18 - Parâmetro de discrepância comprimento total de linhas em função dos limiars de (a) similaridade e (b) área.....	110



4.19 - Parâmetro de discrepância número de polígonos em função dos limiars de (a) similaridade e (b) área.....	111
4.20 - Parâmetro de discrepância variância das áreas dos polígonos em função dos limiars (a) similaridade e (b) área.....	113
4.21 - Parâmetro de discrepância centro de massa mais próximo em função dos limiars de (a) similaridade e (b) área.....	114
4.22 - Parâmetro de discrepância faixa de coincidência em função dos limiars de (a) similaridade e (b) área. ....	115
4.23 - Percentagem de polígonos da ImgSeg 1645 em relação ao seu número de pixels..	116
4.24 - 184 combinações entre os limiars de similaridade e área definidos sobre a área 1.....	121
4.25 - Comportamento do índice IAVAS (das 184 combinações) com base na referência de tela para a área 1.....	121
4.26 - Diferenças entre os segmentos extraídos pela combinação de limiars da ImgSeg1634 e pela combinação da ImgSeg1645. ....	123
4.27 - Imagem segmentada com os limiars 16/45 e sobreposta à imagem ETM+ .....	125
I.1 - 206 combinações entre os limiars de similaridade e área definidos sobre a área 2..	160
I.2 - Comportamento do índice IAVAS (das 206 combinações) com base na referência de campo para a área 2.....	160



## LISTA DE TABELAS

3.1 - Cartas topográficas .....	47
3.2 - Variância das áreas dos polígonos da Imgseg4050 .....	68
4.1 - Comparação entre as imagens de referência obtidas na área teste nº1 .....	84
4.2 - Comparação entre as imagens de referência obtidas na área teste nº2 .....	84
4.3 - Valores dos parâmetros das imagens segmentadas definidos na primeira etapa do processo de otimização .....	85
4.4 - Avaliação do primeiro conjunto de dados para a área 1 .....	86
4.5 - Valores dos parâmetros das imagens segmentadas definidas na 2ª etapa do processo de otimização .....	87
4.6 - Avaliação do conjunto de dados definidos na 1ª e 2ª etapas no processo de otimização para a área 1 .....	88
4.7 - Valores dos parâmetros das imagens segmentadas definidas na 3ª etapa do processo de otimização .....	89
4.8 - Avaliação com base na referência de campo de todo o conjunto de dados definidos pelo processo de otimização para a área 1 .....	90
4.9 - Avaliação com base na referência de campo de todo o conjunto de dados definidos pelo processo de otimização para a área 2 .....	94
4.10 - ImgSeg1240 aplicada sobre a área 2 .....	98
4.11 - ImgSeg1623 e ImgSeg1624 aplicadas sobre a área nº 1 .....	99
4.12 - Avaliação com base na referência de tela de todo o conjunto de dados definidos pelo processo de otimização para a área 1 .....	101
4.13 - Avaliação com base na referência de tela de todo o conjunto de dados definidos pelo processo de otimização para a área 2 .....	104
4.14 - ImgSeg1644 e ImgSeg1645 aplicados sobre a área 2 .....	107
4.15 - ImgSeg1633 aplicada sobre a área 1 .....	108
4.16 - Melhores resultados do índice IAVAS conforme a imagem de referência analisada .....	117

4.17 - Vantagens e desvantagens entre referência de campo e referência de tela .....	118
4.18 - Melhores resultados do índice IAVAS conforme o número de segmentações analisadas .....	120
A.1 - Avaliação com base na referência de campo de todo o conjunto de dados definidos pelo processo de otimização para a área 2.....	141
B.1 - ImgSeg1240 aplicada sobre a área 2.....	143
C.1 - ImgSeg1623 ImgSeg1624 aplicadas sobre a área 1.....	145
D.1 - Avaliação com base na referência de tela de todo o conjunto de dados definidos pelo processo de otimização para a área 1.....	147
E.1 - Avaliação com base na referência de tela de todo o conjunto de dados definidos pelo processo de otimização para a área 2.....	149
F.1 - ImgSeg1644 ImgSeg1645 aplicadas sobre a área 2.....	151
F.2 - ImgSeg1633 aplicada sobre a área 1 .....	153
G.1 - Valores dos parâmetros das imagens segmentadas .....	155
H.1 - Limiares de similaridade e área e respectivos índices IAVAS para as 184 segmentações definidas na área 1 com base na imagem referência de tela .....	157
I.1 - Limiares de similaridade e área e respectivos índices IAVAS para as 206 segmentações definidas na área 2 com base na imagem referência de campo .....	159

## LISTA DE SIGLAS E/OU ABREVIATURAS

CATI	- Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
EDR	- Escritório de Desenvolvimento Regional
ETM+	- Enhanced Thematic Mapper Plus
FAO	- Food and Agriculture Organization
FGV	- Fundação Getúlio Vargas
FT	- Faixa de Tolerância
GPS	- Global Positioning System
IAVAS	- Índice para Avaliação de Segmentação
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	- Instituto de Economia Agrícola
LSPA	- Levantamento Sistemático de Produção Agropecuária
LUPA	- Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola
PC	- Ponto de Controle
PREVS	- Sistema Amostral de Levantamento Agrícola
REQM	- Raiz do Erro Quadrático Médio
RUMA	- Relative Ultimate Measurement Accuracy
SAA	- Secretaria de Agricultura e Abastecimento
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
UTM	- Universal Transversal Mercator



## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

A obtenção de informações precisas, em tempo hábil e com baixo custo sobre a extensão e o rendimento das culturas agrícolas é de grande importância para a economia de um país (Chen, 1990). A superfície cultivada e a produção média da cultura são as variáveis envolvidas no cálculo das previsões de safras (Ippoliti-Ramilo, 1998), e o conhecimento destes dados é um objetivo das autoridades governamentais do Brasil ligadas ao setor. Atualmente, as previsões de safras de abrangência nacional estão sob a responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O IBGE obtém as informações municipais por meio de levantamentos subjetivos, com base em declarações de agentes técnicos e econômicos relacionados ao setor agrícola. Os dados coletados neste procedimento não permitem uma análise quantitativa dos erros e incertezas envolvidos (Ippoliti-Ramilo et al., 1999).

A disponibilidade de informações confiáveis sobre os tipos de culturas instaladas, expectativa de produtividade, área plantada e distribuição espacial dentro de uma determinada região, são informações fundamentais para a tomada de decisões quanto ao planejamento e à liberação de financiamento pelos setores públicos e privados envolvidos na agricultura. Várias decisões sobre importações ou exportações, manutenção de estoques reguladores e estratégias para os diversos insumos são estabelecidas com base nas estatísticas agrícolas.

A estimativa de áreas permite um reescalonamento no plantio das culturas, para que não haja superprodução de alguns produtos e escassez de outros, contribuindo diretamente para o abastecimento do mercado interno e externo (Moura, 2000).

A procura de maior objetividade nas estimativas das áreas agrícolas por meio de técnicas de sensoriamento remoto tem ganhado importância mundial. Busca-se obter, com a aplicação destas técnicas, resultados com maior antecedência, maior precisão e menor custo quando comparados aos resultados gerados pelas técnicas subjetivas tradicionalmente utilizadas.

O governo brasileiro tem feito um esforço para definir um mecanismo alternativo que venha apoiar o atual sistema de levantamento agrícola. O IBGE aplica no Estado do Paraná o método denominado Sistema Amostral de Levantamento Agrícola (PREVS), que utiliza dados de sensoriamento remoto para o levantamento da área plantada por cultura em todo o Estado (Epiphany et al., 2001).

Devido à grande dinâmica das regiões agrícolas, o sensoriamento remoto apresenta-se como uma ferramenta de grande importância para minimizar as falhas no fornecimento de informações atualizadas destas áreas, bem como para fornecer o suporte necessário para as entidades oficiais responsáveis pela previsão de safras regionais, municipais e nacionais.

Em um sistema de previsão de safras a determinação da superfície cultivada deve ser a mais objetiva e confiável possível. Ao integrar o sensoriamento remoto em um sistema de previsão de safras, a extração dos limites das lavouras representa um passo essencial.

Devido à alta dimensionalidade dos dados de sensoriamento remoto e ao grande número de talhões, torna-se inviável a determinação manual dos limites agrícolas presentes em uma imagem orbital. Porém, técnicas de processamento de imagens, como segmentação e classificação, possibilitam a extração dos limites e a quantificação de área plantada por cultura em tempo hábil (Barros et al., 2001).

A segmentação de imagens é uma operação de processamento digital de imagens que pode ser aplicada como uma técnica de pré-classificação (Cross et al., 1988). De acordo com Nascimento (1997), a segmentação de imagens como pré-classificador incorpora informações espaciais, contextuais (relação entre os *pixels* e seus vizinhos) e informações espectrais usualmente utilizadas pelos classificadores *pixel a pixel*.

Para obter uma boa classificação baseada em regiões, é imprescindível uma segmentação eficiente dos alvos de interesse. Porém, Zhang (1996) destaca que apesar de a literatura apresentar inúmeras técnicas de segmentação, poucos são os métodos de avaliação desenvolvidos para julgar a qualidade da segmentação e o desempenho dos algoritmos segmentadores.



Este trabalho parte da premissa de que as técnicas de classificação de imagens por regiões, associadas aos dados oriundos de sensoriamento remoto, são um meio importante para estimar área plantada. A fim de buscar obter uma segmentação precisa de todos os alvos presentes na cena, a presente pesquisa tem como objetivo geral o desenvolvimento de um sistema quantitativo e objetivo para avaliação dos resultados gerados pelo processo de segmentação de imagens digitais da superfície terrestre. A hipótese básica é de que há um conjunto ótimo de variáveis definidoras do segmentador para a determinação do melhor resultado do processo de segmentação, de acordo com a região e o objeto de interesse.

Os objetivos específicos do presente trabalho incluem: a) avaliar a influência dos limiares (similaridade e área) do algoritmo de segmentação por crescimento de regiões sobre o produto da segmentação; b) determinar a melhor maneira de obter dados de referência (demarcação em campo ou interpretação visual dos limites de interesse na imagem) que permitam a avaliação quantitativa das segmentações testadas; c) propor parâmetros para avaliação quantitativa de segmentações; d) propor um índice geral de avaliação da qualidade de segmentações; e) propor e avaliar um método para a definição dos limiares de um segmentador específico, a serem analisados pelo índice desenvolvido.



## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1- ESTIMATIVA DE ÁREAS AGRÍCOLAS

Um sistema de previsão de safras eficiente é uma necessidade para qualquer país cuja economia depende de fatores agrícolas, como importações ou exportações (FAO, 1996). No caso específico do Brasil, as previsões de safras são justificadas pela necessidade de informações sobre o abastecimento interno; para o traçado de políticas governamentais relacionadas a produtos fundamentais para a economia; para a avaliação de prejuízos decorrentes de pragas, geadas, inundações e outros fenômenos naturais; e também como o fornecimento de dados necessários para o planejamento do consumo do País.

A estimativa de áreas permite um reescalonamento no plantio das culturas, para que não haja superprodução de alguns produtos e escassez de outros. Também contribui para a regularização do abastecimento do mercado interno e externo (Moura, 2000).

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 estabelece que compete à União organizar e manter os serviços oficiais de estatísticas, geografia, geologia e cartografia de âmbito nacional. Em particular, isso se aplica às estatísticas agrícolas, cuja competência cabe ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que se torna o responsável pela realização e estabelecimento da orientação oficial do assunto. Entretanto, outras instituições como o Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo (IEA), Fundação Getúlio Vargas (FGV), cooperativas de produtores e departamentos de universidades têm obtido estatísticas agrícolas às vezes em colaboração e, eventualmente, até mesmo oficializadas pelo IBGE (Pino, 1999).

Os sistemas de previsão de safras baseiam-se no produto da área ocupada pela cultura versus seu rendimento médio (Ippoliti-Ramilo, 1998). Segundo a “*Food and Agriculture Organization*” (FAO, 1996), os valores de cada uma dessas variáveis podem ser derivados de dois mecanismos, que são os censos agropecuários e os levantamentos baseados em amostragens da população agrícola.

Os censos agropecuários baseiam-se em informações levantadas em campo de cada unidade da população, o que torna difícil e onerosa esta pesquisa em termos práticos, para a obtenção dos dados anuais em grandes populações. Como exemplo de um censo agrícola, Pino (1997) relata que o Estado de São Paulo realizou o Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola (LUPA) referente ao período de 1995/1996, em que contou com a parceria do Instituto de Economia Agrícola (IEA), da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) e da Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA) do Estado de São Paulo.

Por outro lado, os levantamentos baseados em amostragem da população agrícola fazem estimativa da área e da produtividade para as culturas de interesse. Esses levantamentos dividem-se em *subjetivos* e *probabilísticos*.

Os levantamentos *subjetivos* baseiam-se em declarações de pessoas ligadas ao meio agrícola da região em questão, tais como agentes rurais, bancos de crédito agrícola, fornecedores de insumos e equipamentos agrícolas (IBGE, 1989; Epiphany et al., 2001). Os dados municipais são agrupados em regionais e posteriormente generalizados para os níveis estadual e nacional. Uma vantagem deste método é que os dados são obtidos próximos à realidade, ou seja, os agentes coletam informações próximas do meio que gera a produção agrícola. Por outro lado, a desvantagem deste procedimento é que não permite a realização de avaliações estatísticas ou de estimativas da precisão dos resultados (Collares et al., 1993). Tem-se como exemplo de um levantamento subjetivo o Levantamento Sistemático de Produção Agropecuária (LSPA), realizado pelo IBGE e atualmente utilizado pelo Brasil para estimativa das áreas de culturas agrícolas (Epiphany et al., 2001).

Os levantamentos por *amostragem probabilística* permitem o cálculo da precisão estatística das estimativas e baseiam-se em especificações que possibilitam a definição do modelo de probabilidade no qual se encontra baseada a estimativa das variáveis para o total da produção (Ippoliti-Ramilo, 1998). Segundo a FAO (1996), essas especificações incluem o conhecimento do processo de seleção das amostras, do

conjunto de unidades a serem amostradas, do estimador a ser usado para cada variável e da variância desses estimadores.

Maiores informações sobre as metodologias utilizadas para a estimativa de áreas agrícolas e estimadores aplicados poderão ser encontradas nos trabalhos de González-Alonso et al. (1997), Ippoliti-Ramilo (1998) e Moura (2000).

## **2.2- ESTIMATIVAS DE ÁREAS CULTIVADAS NO BRASIL**

Desde 1972, o IBGE realiza um levantamento mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil, através do LSPA, que fornece estimativas de área, produção e rendimento das fases de pré-plantio à colheita (Ippoliti-Ramilo, 1998).

O IBGE tem efetuado um levantamento sistemático da produção agrícola, com dados municipais obtidos de forma subjetiva, e um censo agropecuário com periodicidade, ora decenal ora quinquenal, com informações sobre os estabelecimentos rurais. Em alguns Estados, em cooperação com órgãos estaduais, ocorre um levantamento por amostragem de áreas (ou segmentos), tendo como sistema referencial imagens de satélites (Pino, 1999). Embora o censo de população tenha constado dos Recenseamentos Gerais de 1872, 1890 e 1900, foi somente em 1920 que se abrangeu a agricultura, o que voltou a acontecer em 1940, 1950, 1960 e 1970. O Censo Agropecuário foi realizado também em 1975, 1980, 1985 e 1996.

### **2.2.1- Levantamento Agrícola para o Estado de São Paulo**

Os levantamentos estatísticos e a geração de informações agrícolas de caráter estatístico no Estado de São Paulo têm sido objeto de trabalho da SAA desde a década de 40 (Pino, 1999). Esses levantamentos, atualmente elaborados pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) e pela CATI, são realizados nos meses de setembro, novembro, fevereiro, abril e junho, com base nas informações obtidas através dos questionários respondidos pelos engenheiros agrônomos (questões sobre a produção global de cada município) e por agricultores em relação à produção (Ippoliti-Ramilo, 1998).

### **2.3- SENSORIAMENTO REMOTO DA AGRICULTURA**

A ciência do sensoriamento remoto consiste na interpretação das medidas da energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície de um objeto distante (Mather, 1999). Pode-se definir também o sensoriamento remoto como sendo a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre pelo registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações (Novo, 1992).

Do ponto de vista técnico-científico, as imagens de sensoriamento remoto têm servido de fontes de dados para estudos e levantamentos geológicos, ambientais, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficos, entre outros, tornando-se assim uma forma viável de monitoramento ambiental em escalas locais e globais, devido à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam (Crósta, 1992).

As técnicas de sensoriamento remoto vêm ganhando importância nos levantamentos objetivos utilizados na avaliação das safras. Têm sido apontadas como ferramentas eficazes para a obtenção de resultados com maiores índices de precisão, em menor tempo e custo, do que com o uso exclusivo das técnicas tradicionais, como atestam os trabalhos de Hill e Mégier (1988), Boissezon e Sharman (1993) e González-Alonso et al. (1997).

Terres et al. (1995) afirmaram que o sensoriamento remoto por satélites oferece dados objetivos e homogêneos, que podem ser geográfica e temporalmente registrados, e que se constituem em uma ferramenta eficiente para o fornecimento de informação de alta qualidade sobre a agricultura em grandes áreas.

Com o objetivo de demonstrar a viabilidade do uso de dados de sensoriamento remoto para a agricultura, importantes projetos, como o LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment) e o CASS (Estratificação e Amostragem Auxiliada por Computador) aplicados nos Estados Unidos, e o MARS (Monitoramento Agrícola por Sensoriamento

Remoto) desenvolvido pela Comunidade Européia, foram realizados voltados à identificação de culturas e estimação de área plantada (Luiz, 2002a). No Brasil tem-se o Sistema Amostral de Levantamento Agrícola (PREVS) realizado pelo IBGE e descrito por Epiphonio et al. (2001). Este sistema consiste na estratificação de um Estado segundo o padrão de uso e na definição de um número de segmentos a serem visitados em campo. Os produtos de sensoriamento remoto são utilizados nas fases de estratificação e de levantamento dos segmentos no campo.

O conhecimento do comportamento espectral de alvos é fundamental na extração de informações de imagens, definição de novos sensores, tipo de processamento a que devem ser submetidos os dados brutos ou mesmo na definição da forma de aquisição dos dados, como geometria de coleta, frequência, altura do imageamento, resolução-limite, etc. (Novo, 1992).

Segundo Slater (1980), as medidas de radiância de um alvo feitas para condições conhecidas definem o seu comportamento espectral, onde cada medida corresponde ao valor médio para diferentes intervalos de comprimento de onda.

Em termos de sensoriamento remoto agrícola, determinadas fases das culturas são caracterizadas por lentas mudanças espectrais e, conseqüentemente, suaves alterações de reflectância. Por outro lado, existem fases no processo agrícola que alteram rapidamente o comportamento espectral, como o aparecimento e desaparecimento da cultura numa dada área devido aos processos de colheita (Ippoliti-Ramilo, 1998).

Maiores detalhes sobre o comportamento espectral da vegetação, do solo, respectivas curvas de reflectância, regiões espectrais de maior interesse para fins de sensoriamento remoto e fatores que interferem na resposta espectral de um *pixel* podem ser obtidos em Gates (1965), Formaggio e Epiphonio (1990), Epiphonio et al. (1992), Epiphonio et al. (1994), Ponzoni e Disperati (1995), Formaggio et al. (1996), Sousa (1997) e Bernardes (1996).

## **2.4- PRÉ-PROCESSAMENTO DE IMAGENS**

A utilização de técnicas de pré-processamento constitui uma das etapas mais importantes no processamento digital, com a finalidade de corrigir as imagens brutas quanto a distorções radiométricas e geométricas. É conveniente que ruídos ou outras imperfeições intrínsecas às cenas sejam removidas ou atenuadas antes da aplicação de técnicas de realce. Muitas vezes, as imperfeições são inerentes e dependentes do sistema sensor utilizado para gerar a imagem digital. Isto faz com que algoritmos específicos para remoção ou redução de ruídos sejam desenvolvidos, dependendo do tipo de ruído presente. Embora alguns tipos de distorções sejam corrigidos na estação de recepção de imagens, há ainda necessidade de realizar algumas correções antes da fase de processamento de imagens propriamente dita (Fonseca, 2002a).

### **2.4.1- Correção Geométrica**

Imagens geradas por sensores remotos, sejam elas fotografias aérea ou imagens de satélite, são sujeitas a uma série de distorções espaciais. Portanto, não possuem precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados (Crósta, 1992).

As principais fontes de distorções geométricas que ocorrem em imagens de sensores remotos orbitais são os erros instrumentais, rotação e curvatura da terra, taxa de varredura finita de alguns sensores, instabilidade na plataforma (altitude e velocidade) e distorções panorâmicas referentes à geometria de aquisição (Mather, 1999). Esses erros são agrupados em erros internos, causados por distorções inerentes ao sensor, e erros externos, condicionados aos efeitos da plataforma e das condições de imageamento.

Para que a precisão cartográfica seja introduzida em imagens de sensoriamento remoto, faz-se necessário que as imagens digitais sejam corrigidas segundo algum sistema de coordenadas. A correção geométrica é a transformação de uma imagem para que ela tenha uma correlação de posicionamento entre os pontos da imagem e do mapa, adquirindo assim as propriedades de escala e de projeção de um mapa (Mather, 1999).



Crósta (1992) e Mather (1999) afirmam que o procedimento de correção geométrica envolve diretamente três etapas: a) Determinação da relação entre o sistema de coordenadas geográficas de um mapa e a imagem; b) Estabelecimento de um conjunto de pontos de controle para definir a posição dos *pixels* de uma imagem corrigida, sendo que este conjunto de pontos define uma grade com as propriedades cartográficas do mapa; c) Cálculo dos valores de intensidade dos *pixels* na imagem corrigida, por interpolação das intensidades dos *pixels* da imagem original.

Segundo Crósta (1992), a relação entre dois sistemas de coordenadas (mapa e imagem) pode ser calculada pelo modelo de geometria digital ou pela definição de pontos de controle no terreno. A transformação relativa ao modelo de geometria orbital baseia-se no conhecimento das características da órbita do satélite, da rotação da Terra e no fator de amostragem do sensor. A precisão dessa técnica é baixa, e o erro médio estimado é da ordem de 2%. Já a transformação baseada em pontos de controle fornece uma maior precisão, que está diretamente ligada ao procedimento de identificação dos pontos.

Crósta (1992) retrata também que a primeira condição para aplicar a transformação baseada em pontos de controle é a existência de uma mapa planimétrico ou planialtimétrico confiável e em uma escala adequada para a área de estudo, visto que os pontos de controle (PC) terão que ser precisamente identificados tanto na imagem como no mapa. Uma alternativa ao uso de mapas é o levantamento preciso no terreno da posição geográfica de alguns pontos visíveis na imagem, por meio do *Global Positioning System* (GPS).

Richards (1993) afirma que há uma relação diretamente proporcional entre o grau do polinômio utilizado para modelar a transformação de coordenadas e o número de pontos de controle. Quanto maior o grau do polinômio, maior será o número de pontos de controle a serem coletados.

Após a definição do modelo de correção geométrica, o próximo passo é uma reamostragem por interpolação para a definição dos novos valores dos números digitais da imagem corrigida. Entre os métodos de interpolação mais comuns, pode-se citar os interpoladores por vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica. Segundo Crósta

(1992) e Mather (1999), e o método do vizinho mais próximo tem a vantagem de ser um método simples, de processamento rápido e que preserva o número digital original da imagem.

#### **2.4.2- Registro**

O registro espacial de múltiplas datas ou imagens de múltiplos sensores é requerido em muitas aplicações em sensoriamento remoto, como construção de mosaicos de imagens, geração de estéreo-pares, orto-retificação e análise multitemporal (Schowengerdt, 1997).

Para a análise multitemporal de imagens predominantemente agrícolas, bem como para a integração de uma imagem à base de dados existente num Sistema de Informações Geográficas (SIG), é necessário o registro das imagens para garantir a justaposição dos *pixels* das diferentes datas (ou imagens de diferentes sensores) para a mesma área do terreno. O registro entre imagens pode ser efetuado de modo automático, pela análise de similaridade ou dissimilaridade entre duas imagens, ou de modo manual pela identificação de pontos coincidentes entre as imagens.

O registro de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relaciona as coordenadas de imagem (linha, coluna) com as coordenadas de um sistema de referência. Como qualquer projeção cartográfica guarda um vínculo bem definido com um sistema de coordenadas geográficas, pode-se dizer então que o registro estabelece uma relação entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas (INPE, 2002a).

D'Alge (2002) e INPE (2002a) referem-se à importância da distinção entre registro e correção geométrica. O processo de correção geométrica de imagens elimina as distorções geométricas sistemáticas introduzidas na etapa de formação das imagens, enquanto o registro apenas usa transformações geométricas simples (usualmente transformações polinomiais de 1º e 2º graus) para estabelecer um mapeamento entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas.

## 2.5- REALCE DE IMAGENS

A interpretação de imagens é, muitas vezes, dificultada pelas degradações inseridas nos processos de geração e visualização da imagem. As técnicas de realce visam melhorar a qualidade visual destas imagens e enfatizar alguma característica de interesse para uma aplicação específica.

Na literatura, dois tipos de transformações de nível de cinza são descritos: contraste (o novo valor do *pixel* depende somente do seu valor original) e filtragem (o novo valor do *pixel* depende também dos valores dos *pixels* vizinhos).

### 2.5.1- Contraste

A manipulação do contraste de uma imagem tem como objetivo melhorar a sua qualidade visual sob critérios subjetivos ao olho humano (Fonseca, 2002b). Esse processo não aumenta a quantidade de *informação* contida na imagem, mas torna mais *fácil a sua percepção*. O aumento do contraste, ou expansão do histograma da imagem, apresenta a mesma informação contida na imagem bruta de uma forma mais nítida para o intérprete. Porém, deve-se ter bem definidos os motivos para a aplicação do aumento do contraste, pois este processamento poderá afetar o resultado de operações subseqüentes (Crósta, 1992).

A relação entre o histograma da imagem original e a imagem resultante é a função de transferência de contraste (Crósta, 1992). Esta função é uma operação pontual, que não leva em consideração as intensidades dos *pixels* ao redor do *pixel* em estudo. Entre as funções mais comuns há os seguintes aumentos de contraste: a) linear; b) negativo; c) raiz quadrada; d) quadrado; e e) logaritmo. As letras *a* e *b* são contrastes efetuados por funções lineares, e os demais por funções não-lineares.

## 2.6- SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS

Segmentação de imagem é um importante processo em análise de imagens de sensoriamento remoto (Bins et al., 1996). Woodcock et al. (1994), Zhang (1997), Borsotti et al. (1998) e Xu et al. (1998) e afirmam que o processo de segmentação

consiste em subdividir uma imagem em regiões homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas, como, por exemplo, o nível de cinza dos *pixels* e a textura, que melhor representam os objetos presentes na cena.

Segundo Haralick e Shapiro (1984), as bordas das regiões devem ser simples, não rugosas e ter distribuição espacialmente coerente com a superfície em estudo. É essencial o número reduzido de segmentos menores no interior das regiões, e os segmentos adjacentes precisam ter valores significativamente distintos quanto às características nas quais eles são uniformes.

Woodcock e Harward (1992) definem que o objetivo da segmentação em sensoriamento remoto é delimitar regiões na imagem correspondentes aos objetos presentes na superfície terrestre.

Entre os atributos analisados pelo segmentador, pode-se citar os dados de área, média, variância, perímetro, excentricidade e linearidade de bordas. Gonzalez e Wintz (1987) afirmam que, em geral, o critério de definição da segmentação é feito em função dos níveis de cinza da imagem, baseando-se em duas características intrínsecas: descontinuidade (na mudança do nível de cinza) e similaridade (agregação de *pixels* em função da semelhança do nível de cinza dos vizinhos).

O INPE (2002b) propõe o uso de segmentação de imagem anterior à fase de classificação, pois as informações de borda definem regiões adjacentes e as estatísticas para a classificação são obtidas a partir do conjunto de *pixels* de cada região. As propriedades espectrais e espaciais das mesmas são utilizadas para agrupamento dos dados homogêneos. Desta forma, a limitação da análise pontual baseada unicamente em atributos espectrais durante o processo de classificação está superada.

### **2.6.1- Algoritmo Crescimento de Regiões**

Zucker (1976) e Schoenmakers et al. (1991) descreveram o método de segmentação por crescimento de regiões como uma divisão do conjunto de amostras da imagem ( $X$ ) em

regiões homogêneas  $R_1, R_2 \dots R_n$ , sendo  $P$  o predicado lógico que mede a homogeneidade de uma região e atende às seguintes condições:

- a) regiões digitalmente conectadas, isto é, as regiões devem ser compostas por uma seqüência de pontos contíguos;
- b)  $\bigcup_{i=1}^n R_i = X$ , onde  $X$  é a imagem inteira e  $R_i$  é a  $i^{\text{ésima}}$  região;
- c)  $R_i \cap R_j = \phi$ , para todo  $i \neq j$ ;
- d)  $P(R_i) = \text{Verdade}$  para  $i = 1, 2 \dots n$ ;
- e)  $P(R_i \cup R_j) = \text{Falsa}$  para  $i \neq j$ , onde  $R_i$  e  $R_j$  são adjacentes (regiões conectadas por algum ponto).

A segunda condição indica que a segmentação deve ser completa, e que os pontos de cada região estejam conectados. A terceira condição garante que todas as regiões são distintas e perfeitamente separadas, e a quarta condição especifica que as propriedades dos atributos devem ser satisfeitas pelos *pixels* na região segmentada. A quinta condição retrata que as regiões  $R_i$  e  $R_j$  possuem atributos diferentes.

Zucker (1976) mostrou que essas propriedades descrevem aspectos importantes dos algoritmos de segmentação mas não conduzem a um único algoritmo para executar o processo de fragmentação de uma imagem. Muitos algoritmos de segmentação incorporaram estas condições, mas Schoenmakers et al. (1991) propuseram algumas mudanças nessas condições para adaptar os algoritmos com heurísticas apropriadas a cada aplicação, dadas as necessidades do usuário final.

A técnica de crescimento de regiões é um processo de iteratividade pelo qual são fundidas regiões a partir de *pixels* individuais até que todos os *pixels* sejam processados (Nascimento, 1997). Os passos a seguir, definidos por Bins et al. (1996), descrevem os procedimentos da segmentação baseada na técnica de crescimento de regiões:

- 1) Inicialmente cada célula corresponde a um *pixel* da imagem;
- 2) Cada célula padrão é comparada com suas células vizinhas para determinar se elas são semelhantes, usando uma medida de similaridade. Duas células vizinhas são agrupadas se o critério de similaridade for satisfeito. Neste caso ocorre a formação de uma célula maior com as propriedades calculadas a partir das duas células vizinhas agrupadas;
- 3) A célula continua sendo agrupada com suas vizinhas enquanto o critério de similaridade for satisfeito;
- 4) O algoritmo termina quando não houver nenhum par de células vizinhas que satisfaça o critério de similaridade.

A desvantagem deste esquema tradicional é que as iterações dependem da ordem das uniões, ou seja, o crescimento da segunda região vai iniciar somente depois de ter completado o crescimento da primeira região. Logo, esta dependência poderá fornecer diferentes resultados conforme a região inicial escolhida no processo de segmentação.

O algoritmo implementado no software SPRING, e utilizado neste trabalho, é baseado na tradicional técnica de crescimento de regiões com algumas modificações que reduzem o problema da dependência na ordem da união (Bins et al., 1996). A cada repetição, é definido um jogo de subimagens, e o par mais semelhante de regiões espacialmente adjacentes são fundidas em cada subimagem.

Bins et al. (1996) definiram o algoritmo da seguinte forma:

- a) no princípio do processo de segmentação, uma lista de regiões  $\{R_i, i = 1, 2, \dots, n\}$  é criada ( $n$  é o número de *pixels* na imagem). Inicialmente, cada região é composta por somente um *pixel* denominado “*semente*”. Para cada região  $R_i$  o seu vetor média e o das regiões vizinhas são armazenados;
- b) para cada região  $R_i$  são examinadas suas regiões vizinhas de  $N(R_i)$  e:

- a região vizinha mais semelhante  $R_k \in N(R_i)$  é escolhida. Se  $D(R_i, R_k) < T(t)$ , então  $R_k$  é nomeado “o melhor vizinho” de  $R_i$ ;
  - se o melhor vizinho de  $R_k$  for  $R_i$ , então são fundidas ambas as regiões;
- c) constantemente uma região é agregada a outra até o momento em que esvazie a lista de regiões;
- d) o valor médio da região é atualizada toda vez que uma célula é agregada;
- e) no último passo, regiões pequenas são fundidas com regiões maiores adjacentes, conforme o valor do limiar de área definido pelo usuário.

Conforme a descrição anterior,  $\mathfrak{R}$  representa o conjunto de regiões da imagem e  $R \in \mathfrak{R}$  é um elemento deste conjunto.  $T(t)$  descreve o valor do limiar abaixo do qual duas regiões são consideradas similares no instante  $t$ , e  $M_i$  é o vetor de valor médio da região  $R_i$ .  $D(R_i, R_k) = \|M_i - M_k\|$  é a distância Euclidiana entre os valores médios espectrais das regiões  $R_i$  e  $R_k$ , e  $N(R)$  é o conjunto de regiões vizinhas de  $R$  (não incluindo o próprio  $R$ ). A região  $R_k$  é a região vizinha mais semelhante de  $R_i$  se  $D(R_i, R_k) \leq D(R_i, R_l)$  para todo  $R_l \in N(R_i)$ . Na implementação deste algoritmo no software SPRING,  $T(t) = \alpha^t$ , onde  $t$  corresponde ao número de análises que o algoritmo efetuará até atingir o valor do limiar estipulado e  $\alpha > 1$ . Esta especificação impõe que somente regiões muito similares são fundidas primeiro.

As etapas do processo de segmentação utilizando o algoritmo crescimento de regiões implementado no SPRING são:

- 1) seleção das bandas espectrais a serem utilizadas no processo de segmentação. O número de bandas é definido pelo usuário, pois o algoritmo segmenta uma ou mais bandas ao mesmo tempo. Um condicionante para a utilização de mais de uma banda é que todas tenham a mesma resolução;
- 2) seleção dos limiares de similaridade e área, que definem o resultado esperado da segmentação. O limiar de similaridade define se duas regiões são similares

quando o valor da distância Euclidiana mínima entre as médias das regiões é inferior ao limiar estipulado. Já o limiar de área representa a área mínima, em *pixels*, para que uma região seja individualizada. Regiões menores que o limiar estipulado são absorvidas por outras regiões que possuem média espectral mais próxima.

Maiores informações sobre o algoritmo de segmentação crescimento de regiões podem ser obtidas nos trabalhos de Bins et al. (1996), Nascimento (1997) e INPE (2002b).

### **2.6.1.1- Definição dos Limiares de Similaridade e Área**

A definição do *limiar de similaridade* é considerada uma etapa fundamental no processo de segmentação, devido à sua influência direta na precisão do produto final. A delimitação do *tamanho da área* é outra importante etapa no processo de segmentação, onde se considera o tamanho mínimo das regiões que serão individualizadas pelo algoritmo. Para o caso de imagens agrícolas, as regiões são representadas pelos talhões.

Os valores de limiares permitem ao usuário controlar o resultado da segmentação de um forma interativa, dependendo de seu objetivo e região em estudo. Nascimento (1997) salienta que não há um valor de limiar ideal, pois depende do tipo da imagem, do uso do solo, do período em que o dado foi adquirido e dos objetivos da pesquisa. Geralmente, a definição dos limiares é alcançada após vários testes entre as combinações possíveis no algoritmo. Esses testes prosseguem até o momento em que o resultado da segmentação seja satisfatório para um determinado objetivo. Os critérios de aceitação e rejeição dos limiares são analisados em decorrência da separação dos níveis de cinza e comparados visualmente com um mapa temático (previamente definido mediante uma fotointerpretação), ou através da sobreposição da imagem segmentada com as bandas utilizadas para sua geração.

Como exemplos, podem ser citados alguns trabalhos que utilizaram o algoritmo de segmentação por crescimento de regiões como suporte para análise do uso do solo. Barros et al. (2001) exploraram a segmentação multitemporal de imagens ETM+/Landsat-7, em uma área predominantemente agrícola, para a detecção de bordas



e delineamento de talhões. Os melhores resultados foram obtidos com os limiares 30 e 50 para similaridade e área, respectivamente. Moreira e Souza (2001) utilizaram os limiares 20 / 50 (similaridade / área) no estudo de técnicas de processamento digital sobre imagens TM/Landsat para mapeamento de áreas cafeeiras. Chaves et al. (2001) empregaram os limiares 10 / 10 na identificação dos principais tipos de pastagens cultivadas do Cerrado brasileiro, e Moreira e Assad (2000) aplicaram os limiares 8 / 8 no algoritmo crescimento de regiões, como suporte ao processo de classificação supervisionada por região, a fim de identificar áreas com diferentes fases de degradação de pastagens. Já Braga e Gherardi (2001) utilizaram os limiares 2 / 4 para mapeamento de recifes costeiros por meio de imagens orbitais. Almeida Filho et al. (1997) relataram os limiares 10 / 50 como sendo os de melhores resultados em um mapeamento semi-automático para associações solo-vegetação. Padilha e Kurkdjian (1996) estudaram a técnica de segmentação de imagens por crescimento de regiões, sobre imagens HRV/SPOT, para a discriminação de vazios urbanos e encontraram como melhores resultados os limiares 10 / 25 para a imagem pancromática, 9 / 6 para imagem multiespectral e 16 / 10 para a fusão das imagens multiespectral e pancromática pela transformação IHS. Venturieri (1996) utilizou os valores de 6, 8, 10, 12 e 14 como limiares de similaridade e o valor de 10 para o limiar de área, no desenvolvimento e treinamento de redes neurais artificiais em classes de uso da terra através de segmentos de imagens rotuladas por lógica nebulosa. Este autor concluiu que o limiar de similaridade 10 foi o que melhor representou a referência terrestre para a análise aplicada.

Os trabalhos descritos anteriormente demonstram a grande aplicação da técnica de segmentação para mapeamento do uso da terra, e a variação dos limiares conforme o tipo de aplicação e o material utilizado. Outras análises, empregando algoritmo de segmentação por crescimento de regiões, podem ser observadas nos seguintes trabalhos: Alves et al. (1996), Nascimento e Almeida Filho (1996), Batista et al. (1997), Coutinho et al. (1998), Nascimento et al. (1998), Pereira et al. (1998), Yi et al. (1998), Kartikeyan et al. (1998) e Moreira e Assad (1999).

## 2.6.2- Métodos para Avaliação dos Algoritmos de Segmentação

Os algoritmos de segmentação propostos na literatura geralmente são aplicáveis para imagens, mas diferentes algoritmos não são igualmente satisfatórios para uma particular aplicação (Zhang, 1996). Logo, métodos para a avaliação do desempenho do algoritmo de segmentação são indispensáveis e considerados importantes no estudo da segmentação.

A medida da qualidade de uma segmentação pode ser feita a partir de uma avaliação qualitativa e quantitativa. A primeira é baseada na inspeção visual e permite verificar questões relativas ao número de segmentos gerados, preservação dos pontos isolados e feições lineares, regularidade de bordas entre regiões, etc. A avaliação quantitativa de uma segmentação é efetuada por meio de grandezas que permitem quantificar em valores numéricos características como número de segmentos, tamanhos dos segmentos em *pixels*, tempo de processamento, intensidade média das radiometrias dos segmentos, etc. (Lucca, 1998).

Alguns métodos têm sido propostos para avaliar e comparar o desempenho de algoritmos de segmentação, entre os quais pode-se destacar os apresentados em Zhang (1996) e Kartikeyan et al. (1998). Esses métodos podem ser divididos em duas categorias: analíticos e empíricos.

Os métodos analíticos permitem avaliar e examinar diretamente os algoritmos por meio das análises de seus princípios, suposições, exigências, utilidades, complexidade e propriedades. Os resultados gerados independem de experimentos e podem ser aplicados sem que o algoritmo esteja completamente implementado. Além do mais, a aplicação desses métodos é independente da natureza ou do objetivo da segmentação.

Já os métodos empíricos permitem avaliar e examinar um algoritmo de forma indireta, pela aplicação de imagens de referência e medição da qualidade do resultado da segmentação (Zhang, 1996). Este método é subdividido em: discrepância e qualidade.

Os métodos empíricos de discrepância possibilitam avaliar o desempenho de um algoritmo de segmentação pela comparação da segmentação de uma imagem gerada pelo processo de segmentação com uma imagem de referência. No caso de cena orbital, a imagem de referência é geralmente obtida por uma segmentação manual baseada na interpretação visual, utilizando técnicas de pré-processamento de imagens como manipulações de contraste e composição colorida, sobre a cena original (Zhang, 1996). Para a segmentação de imagens sintéticas, a imagem de referência pode ser simplesmente obtida no processo de geração da própria imagem. Nascimento (1997) e Rodriguez (2000) utilizaram como imagens de referência mapas temáticos gerados sobre os dados de entrada para avaliação da segmentação. Conforme Gonzales e Wintz (1987), esta é uma maneira qualitativa mas eficiente para avaliar a precisão da segmentação.

Os métodos empíricos de discrepância analisam as diferenças obtidas através das medidas dos parâmetros de discrepância (ou medida das características), como área, forma, excentricidade, perímetro, esfericidade, posição e número de objetos entre a segmentação obtida pelo algoritmo e o dado de referência. Valores de discrepância elevados são atribuídos a grandes erros da segmentação, que evidenciam um baixo desempenho do algoritmo.

Zhang e Gerbrands (1994) relatam que diferentes características dos objetos podem ser importantes em diversas aplicações para avaliar e descrever propriedades de algoritmos. Por outro lado, podem ser diferentes efetivamente no julgamento do resultado das segmentações.

Os métodos empíricos de qualidade permitem avaliar o desempenho dos algoritmos analisando apenas a qualidade da segmentação final obtida, sem nenhum conhecimento *a priori* do dado de referência. Forma e uniformidade dos segmentos, além da diferença espectral entre as regiões extraídas pelo algoritmo, são algumas medidas de qualidade propostas neste método.

Lucca (1998) retrata a importância do conhecimento do objetivo da segmentação na aplicação dos métodos empíricos de qualidade, onde a definição das medidas de

qualidade desejáveis da segmentação impõe o conhecimento do resultado esperado. Já para os métodos empíricos de discrepância, a exigência do dado de referência implica uma dependência maior do conhecimento deste objetivo, pois as medidas de avaliação estão diretamente relacionadas com o dado base (como, por exemplo, a segmentação manual).

Nos trabalhos de Zhang (1996), Xu et al. (1998) e Román-Roldán et al. (2001) são aplicados diferentes métodos para avaliação da segmentação. Entre os métodos desenvolvidos, pode-se destacar o critério de avaliação objetivo e quantitativo proposto por Zhang e Gerbrands (1994), onde definiram uma estrutura para avaliação de algoritmos de segmentação baseada na discrepância das características mensuráveis dos objetos segmentados. Esta estrutura consiste na *medida de exatidão final relativa* (Relative Ultimate Measurement Accuracy - RUMA) representada pela equação 1.1:

$$RUMA_f = ( | S_f - R_f | / R_f ) * 100 \quad (1.1)$$

Onde:  $f$  = representa o parâmetro de discrepância considerado;

$S_f$  = valor do parâmetro  $f$  sobre a imagem segmentada;

$R_f$  = valor do parâmetro  $f$  sobre a imagem de referência;

O  $RUMA_f$  pode ser selecionado conforme o objetivo da segmentação e as exigências para avaliação e comparação do algoritmo. Vários parâmetros podem ser empregados de forma que diferentes situações possam ser analisadas. Como exemplo tem-se o trabalho de Zhang (1997), em que foram utilizados diversos valores de excentricidade e nível de ruído das imagens como parâmetros de discrepância para avaliar e comparar algoritmos de segmentação. Outro exemplo é o trabalho de Zhang e Gerbrands (1994), em que analisaram as características geométricas da imagem, como área, perímetro, fator  $F$  (derivado da área e do perímetro) e circularidade.

Lucca (1998) avaliou e comparou o desempenho de dois algoritmos de segmentação de imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR) por meio de uma análise qualitativa e quantitativa. Para a análise quantitativa foram utilizadas medidas de discrepância

referentes ao ajuste de posição, tamanho, intensidade média, forma e número de segmentos, bem como o tempo de processamento requerido para cada segmentação.

#### **2.6.2.1- Qualitativo versus Quantitativo e Subjetivo versus Objetivo**

Duas propriedades desejáveis em um método de avaliação são a capacidade para avaliar os algoritmos de segmentação de um modo quantitativo e objetivo. Estudos quantitativos podem prover resultados precisos refletindo a exatidão da avaliação. Estudos objetivos isentam os resultados da influência do fator humano. Zhang (1996) relata que os métodos analíticos são geralmente fáceis de aplicar, mas freqüentemente observam somente as propriedades qualitativas dos algoritmos. Já os métodos empíricos de discrepância são considerados objetivos e quantitativos, pois os resultados são numericamente computados e obtidos por meio de uma análise objetiva dos alvos presentes na imagem de referência. O autor conclui ainda que os métodos empíricos são mais adequados e úteis que os métodos analíticos para avaliar a eficiência dos algoritmos de segmentação. Entre os métodos empíricos, os métodos de discrepância são superiores para avaliar objetivamente os algoritmos de segmentação que os métodos de qualidade, embora sua aplicação seja mais complexa devido à necessidade do uso da imagem de referência.



## CAPÍTULO 3

### MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1- ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo encontra-se localizada no norte do Estado de São Paulo (Brasil), entre o quadrado descrito pelas coordenadas geográficas 20° 17' a 20° 39' S e 47° 37' a 48° 14' W, compreendendo uma região de 124.050 ha composta por 3 municípios: Ipuã (46.559 ha), São Joaquim da Barra (41.226 ha) e Guará (36.265 ha). Na Figura 3.1 observa-se a localização da área de estudo no contexto estadual e municipal. Os respectivos municípios fazem parte do Escritório de Desenvolvimento Regional (EDR) de Orlandia (uma das divisões na estrutura administrativa da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI).

Classes de solos férteis como o Latossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Vermelho Distrófico, relevo plano a suave ondulado, excelente malha viária e a grande disponibilidade de água fornecida pelos inúmeros rios da região foram fatores essenciais para o aumento da irrigação (principalmente através de pivôs centrais) na prática agrícola da região (Epiphanyo et al., 2001).

Pelo menos uma vez ao ano, mais de 75% da área dos três municípios são ocupadas pelas culturas de cana, soja e milho (Luiz, 2002b). O tamanho médio dos talhões ocupados pelas principais culturas é suficientemente grande para permitir uma utilização eficiente do sensoriamento remoto no seu monitoramento. Como prática agrícola da região, é comum o plantio do milho e o do sorgo após o período normal da safra de verão, e a rotação entre a cana-de-açúcar e uma cultura anual para manutenção do canavial.

Dado o grande potencial agrícola desses municípios, bem como o dos vizinhos que compõem o EDR de Orlandia, a escolha desta região para a aplicação da metodologia proposta nesta pesquisa adequa-se perfeitamente ao objetivo de avaliar os procedimentos para estimativas de áreas plantadas, através da técnica de segmentação

de imagens, como suporte ao sistema de previsão de safras. As características dos três municípios escolhidos possibilitam a ampliação deste estudo posteriormente para todo o EDR de Orlândia, ocasionando um apoio científico ao desenvolvimento da agricultura do Estado de São Paulo e da nação.

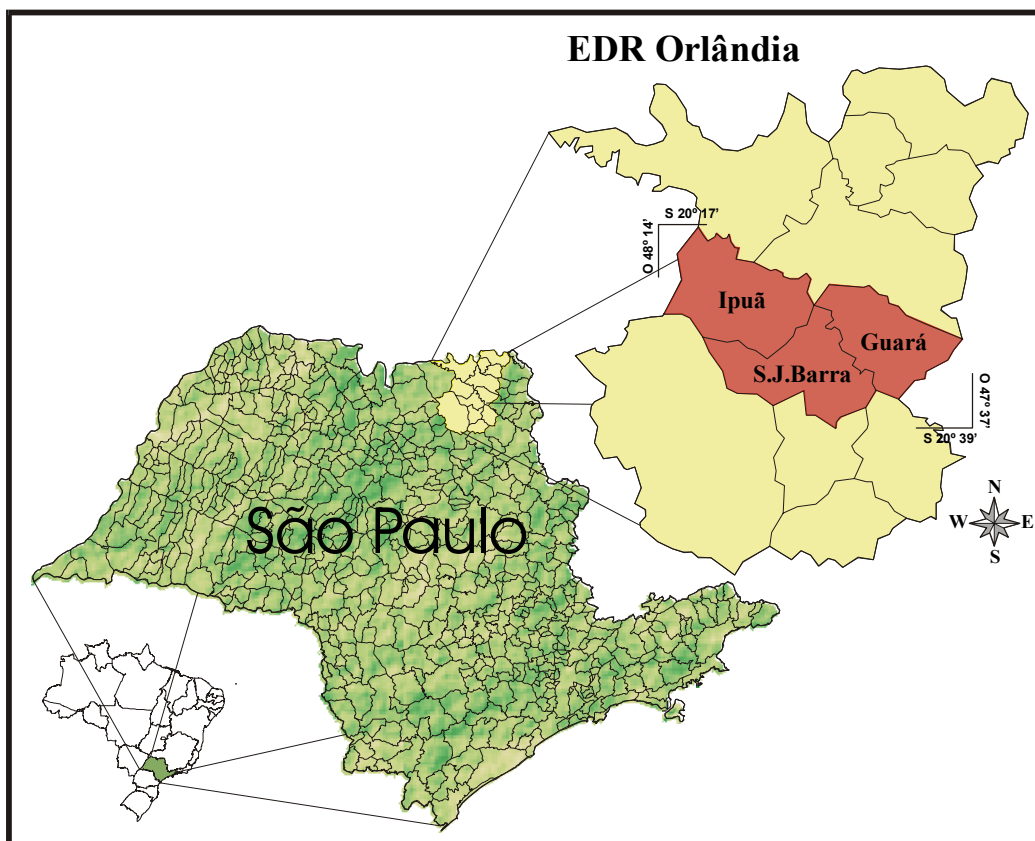


Fig. 3.1 - Esquema de localização da área de estudo no Estado de São Paulo.

### 3.2- MATERIAL

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

#### 3.2.1- Dados de Sensoriamento Remoto

Chen (1988) afirmou que a identificação e o mapeamento das culturas de verão no Brasil são mais complexos do que os das culturas de inverno, devido à heterogeneidade das respostas espectrais. Já uma análise multitemporal proporciona uma identificação do



desenvolvimento das culturas de verão e possibilita a caracterização do uso/cobertura para todo o ciclo agrícola. Porém, uma das dificuldades impostas ao uso de sensores remotos passivos é a intensa cobertura de nuvens durante o verão, prejudicando a aquisição de imagens em boas condições (González-Alonso et al., 1997).

Desta forma foi observada, para escolha do dado orbital, a disponibilidade de uma imagem sem nuvens sobre a área de estudo, e a possibilidade de uma visita ao campo para reconhecimento e levantamento dos alvos de interesse o mais próximo possível da data de aquisição da cena. O dado orbital utilizado neste trabalho consistiu de uma imagem do dia 14/08/2001 do sensor ETM+/Landsat7, correspondente à órbita 220/74 e nível de correção 1G (INPE, 2001).

### 3.2.2- Materiais Cartográficos

Os municípios em estudo compreendem uma região com pouco mais de 124.000 ha, compreendidos em 6 folhas topográficas na escala 1:50.000 descritas na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 - CARTAS TOPOGRÁFICAS

Nome	Fonte	Quadrícula
Ipuã	IBGE (1972a)	SF-22-X-B-III-4
Ituverava	IBGE (1972b)	SF-23-V-A-I-3
Jeriquara	IBGE (1972c)	SF-23-V-A-I-4
Morro Agudo	IBGE (1972d)	SF-22-X-B-VI-2
São Joaquim da Barra	IBGE (1972e)	SF-23-V-A-IV-1
São Joaquim da Bela Vista	IBGE (1972f)	SF-23-V-A-IV-2

### 3.2.3- Equipamentos e Software

Para o processamento das imagens digitais, bem como para a análise dos dados obtidos, foi utilizado o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - SPRING, versão 3.5 (Câmara et al., 1996). Uma das técnicas de processamento de imagens presentes no *software* SPRING é a *segmentação de imagens*, cujo algoritmo de crescimento por regiões foi o utilizado para a produção e avaliação das segmentações.

Foi utilizado o programa Excel 97 da Microsoft para manipulação e quantificação dos parâmetros de discrepância que compõem o índice IAVAS.

O equipamento empregado para o levantamento dos pontos em campo foi o receptor portátil do sinal GPS - Garmin III plus, cuja precisão para a determinação da posição é estimada em no máximo 15 m, segundo o fabricante (GARMIN, 1999).

### **3.3- METODOLOGIA**

Neste trabalho, o algoritmo de segmentação será avaliado quantitativamente a partir de um método empírico de discrepância. A escolha por este método se justifica pelo fato de os parâmetros de discrepância serem independentes do tipo de algoritmo para segmentação, pois dependem somente das imagens a serem segmentadas e das segmentações produzidas. Além disso, o método empírico de discrepância fornece resultados objetivos e quantitativos do processo de avaliação.

A metodologia baseada no método empírico de discrepância avalia o resultado da segmentação através de um índice de avaliação composto por parâmetros de discrepância obtidos entre a imagem segmentada e a imagem de referência. Portanto, para que o procedimento de avaliação possa ser aplicado, há a necessidade de pelo menos dois componentes: a imagem segmentada (independente do algoritmo de segmentação a ser testado) e a imagem de referência.

Desta forma foi desenvolvido um critério de avaliação objetivo e quantitativo chamado de “Índice para Avaliação de Segmentação” (IAVAS). O único aspecto subjetivo em todo o procedimento reside na definição da imagem de referência, quando a mesma é segmentada a partir da interpretação feita pelo operador.

A metodologia consiste ainda na otimização do espaço de opções definido pelos limiares (similaridade e área) necessários para a definição do nível de segmentação, o qual determina o número e o tamanho das regiões a serem extraídas pelo algoritmo crescimento de regiões.

Os passos seguidos nesta metodologia para a obtenção dos resultados estão representados na Figura 3.2, e serão detalhados nas seções subseqüentes.

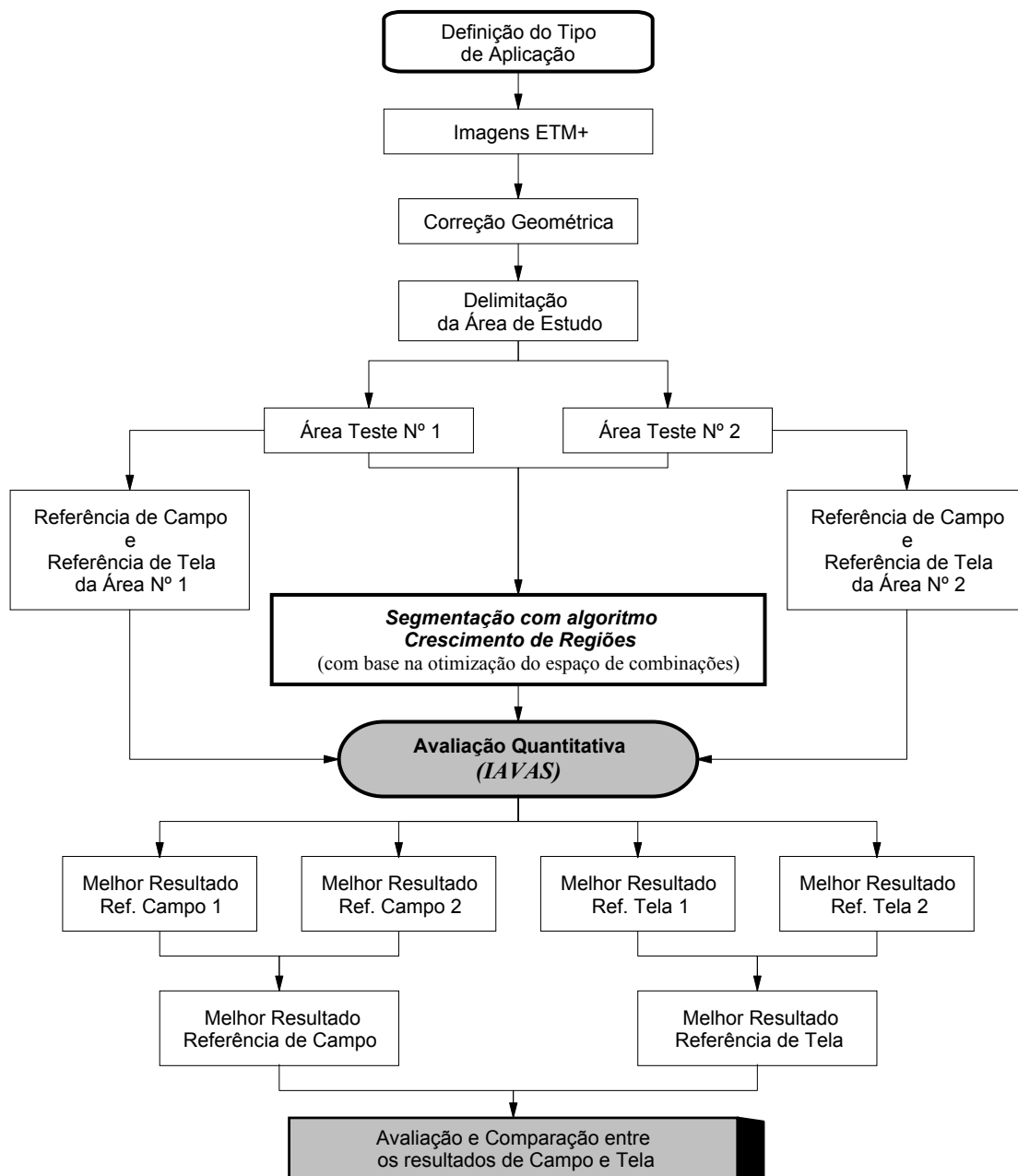


Fig. 3.2 – Diagrama esquemático da metodologia.

### 3.3.1- Definição do Tipo de Aplicação

Uma etapa fundamental para a avaliação dos resultados obtidos pela segmentação é a definição do *tipo de aplicação* de interesse do usuário, determinando o porquê de segmentar uma imagem. A definição do *tipo de aplicação* estipula o conjunto de imagens a serem utilizadas, o tipo de algoritmo, os alvos a serem identificados

conforme suas características (forma, tamanho, etc.) e principalmente o nível de detalhamento no processo de segmentação (Zhang, 1996).

Para o presente trabalho o *tipo de aplicação* definido foi o estudo do uso e ocupação do solo numa região agrícola. Este tipo de aplicação tem sido conduzido a partir de imagens de sensoriamento remoto, e tem assumido crescente importância nos levantamentos objetivos para avaliação das safras agrícolas.

Basicamente, o *tipo de aplicação* definida no presente trabalho consiste em extrair sobre imagens orbitais os limites dos talhões agrícolas conforme a resposta espectral de cada cultura, constituindo assim num dos principais passos para a construção de uma estatística agrícola. Portanto, espera-se que as áreas das culturas de peso para a estatística agrícola no contexto municipal, regional ou estadual possam ser identificadas.

### **3.3.2- Registro**

As imagens geradas por sensores remotos estão sujeitas a uma série de distorções espaciais, não apresentando, portanto, uma posição cartográfica adequada quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados. Para que estas imagens adquiram a precisão cartográfica exigida, faz-se necessário estabelecer uma relação entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas por meio de registro.

Assim, a imagem ETM+ de 14 agosto de 2001 foi registrada utilizando como referência os pontos coletados em campo pelo sistema de posicionamento global (GPS). O registro foi realizado por meio da determinação matemática da relação entre as coordenadas dos pontos GPS e as coordenadas da imagem (linha, coluna).

Moreira (2001) relata que o número de pontos para o registro depende diretamente do nível de processamento dos dados digitais ou nível de correção da imagem. Para as imagens com nível de correção 4, são necessários no mínimo 6 pontos de controle. Para as imagens com nível de correção 5 e 6 bastam um ou dois pontos de controle.

Os pontos de controle e de teste levantados em campo serviram de base para a construção e avaliação de uma equação de transformação polinomial de primeiro grau. O interpolador *vizinho mais próximo* foi utilizado para reamostrar os níveis digitais da imagem para o sistema de coordenadas de projeção UTM (*Universal Transversal Mercator*), fuso 23 e Datum SAD69, conforme recomendado por Crósta (1992) e Mather (1999) para preservação do número digital original da imagem.

O resultado da correção geométrica da imagem foi avaliado por meio da raiz do erro quadrático médio (REQM) das diferenças entre as posições dos pontos de controle de referência e as novas posições da imagem após a transformação, conforme a equação 3.1.

$$\text{REQM} = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2}{n}} \quad (3.1)$$

onde:

$e$  = diferença entre as posições do ponto de controle na imagem original e após a transformação;

$n$  = total dos pontos de controle utilizados na transformação.

### **3.3.3- Limites da Área de Estudo**

Para a obtenção dos limites de cada município e, conseqüentemente, do contorno da área de estudo, foi utilizada a base de dados (em formato vetorial) da malha municipal do Brasil, fornecida pelo IBGE e incluída na versão 3.5 do SPRING. Folhas topográficas na escala 1:50.000 (descritas no item 3.2.2) foram utilizadas como suporte para a formação do plano contendo os limites de interesse.

Nascimento (1997) relata que o tempo de processamento para uma segmentação, através do algoritmo de segmentação crescimento de regiões, é diretamente proporcional ao tamanho da imagem e ao número de bandas selecionadas. Como a região de estudo compreende uma área de aproximadamente 124.050 ha (municípios de Ipuã, São

Joaquim da Barra e Guará) e toda a sua extensão representa apenas 3,6% da cena ETM+ do Landsat-7 utilizada, optou-se pelo procedimento de reduo da cena, através de uma máscara binária, para uma área equivalente ao contorno total dos três municípios. Este procedimento possibilitou uma notável reduo no tempo de processamento computacional gasto em cada segmentao efetuada pelo algoritmo e no volume físico dos arquivos para armazenamento, uma vez que, como procedimento executado, apenas a exata área de interesse era usada.

### **3.3.4- Imagem de Referência**

Como já referido anteriormente,  necessária uma *imagem de referência* como critério para as medidas de discrepância a serem coletadas numa fase próxima.

A metodologia de avaliao através do método empírico proposto neste trabalho necessita de uma imagem de referência (também definida como segmentao de referência) como critério para as medidas de discrepância. A *imagem de referência* busca representar uma identificao adequada dos alvos presentes na cena, levando em considerao os limites de resoluo espacial e espectral, as condioes de relevo, o estdio fenológico das culturas e o *tipo de aplicao* definido pelo usuário.

Por ser essencial para a aplicao do ndice IAVAS e ter influência direta na avaliao da segmentao, a *imagem de referência* foi obtida de duas maneiras distintas: a) pela definio dos talhões agrícolas em campo com auxílio do GPS (referência de campo); e b) pelo traçado dos limites desses talhões via interpretao em tela do computador (referência de tela). Ambas as formas são descritas a seguir:

#### **a) Referência de Campo**

A *imagem de referência* baseada nos dados de campo consiste no levantamento por GPS dos limites físicos dos talhões agrícolas considerados essenciais para representar as condioes de uso agrícola na região estudada.

Foi utilizada uma composio colorida da imagem ETM+/Landsat-7 (14/08/2001) como referencial para a localizao e lançamento das informaçoes coletadas em campo no

período de 20 a 24 de agosto de 2001. Para cada unidade agrícola (ou talhão) observada em campo, levantou-se também o tipo de cultivo, as condições de desenvolvimento, o estágio fenológico, ocorrências diversas (infestações por ervas daninhas, acamamento, etc.), descrições dos tipos de solos e relevo, além de uma documentação fotográfica. Tais informações serviram de suporte para a interpretação visual e apoio às classificações digitais sobre as imagens.

#### b) Referência de Tela

Esta *imagem de referência* consistiu no levantamento dos talhões através da interpretação visual feita pelo usuário via monitor do computador. É importante mencionar que a *referência de tela* está diretamente relacionada com o interesse do usuário e o resultado que o mesmo espera do processo de segmentação. Na digitalização via tela o usuário define o tipo de alvo e as dimensões mínimas que o segmentador deve extrair para atender ao seu objetivo. Este procedimento condiz com a forma de geração da imagem de referência quando está avaliando imagens reais (neste trabalho é a imagem orbital ETM+) pelo método empírico de discrepância descrito por Zhang (1996).

Há grande interesse de viabilizar a obtenção da *imagem de referência*, tanto com base nos dados de campo como via tela, principalmente visando à redução do tempo de processamento. Assim, ao invés de utilizar a área de estudo inteira, foram definidas duas áreas testes representativas da diversidade do uso agrícola da região. Com isso, obteve-se também uma diminuição no tempo necessário para execução do trabalho de campo.

Na data da imagem utilizada neste trabalho destacam-se as culturas da cana-de-açúcar, milho e feijão em diferentes estágios de desenvolvimento, e talhões colhidos e em preparo do solo para a nova safra (2001/2002). O período de colheita diferenciado das culturas instaladas na região, associado aos costumes agrícolas locais, proporcionam ampla variação dos usos do solo no contexto agrícola conforme a data da imagem. Por este motivo as áreas-teste somente podem ser definidas após a aquisição da cena, de forma que elas sejam determinadas em locais que possuam talhões, formas e

diversidade de culturas que melhor representem a variabilidade dos alvos presentes na cena e atendam ao objetivo final da segmentação.

### **3.3.5- Áreas Testes Representativas da Área de Estudo**

Com a finalidade de reduzir o custo computacional e viabilizar um maior número de segmentações em menor intervalo de tempo, foram definidas duas áreas testes que melhor representassem a área de estudo e o tipo de aplicação definido para este trabalho.

#### **3.3.5.1-Área Teste nº 1**

Sobre a imagem ETM+/Landsat-7 foram definidas a localização e a dimensão da área 1 buscando uma melhor representação da prática agrícola na região, dos diversos estágios das culturas, das formas dos talhões, levando em conta a acessibilidade e a permanência em campo conforme a extensão da área para o levantamento dos dados. A Figura 3.3 destaca a variabilidade dos usos do solo presentes na área 1, a qual possui uma dimensão de aproximadamente 2.254 ha e localiza-se no município de Ipuã.

#### **3.3.5.2-Área Teste nº 2**

A área 2 localiza-se no município de São Joaquim da Barra, abrange uma extensão 1.558 ha, e também é caracterizada por significativa variedade de usos dos solos (culturas, construções, estradas pavimentadas, matas, etc.) e formas das unidades agrícolas (Figura 3.4).



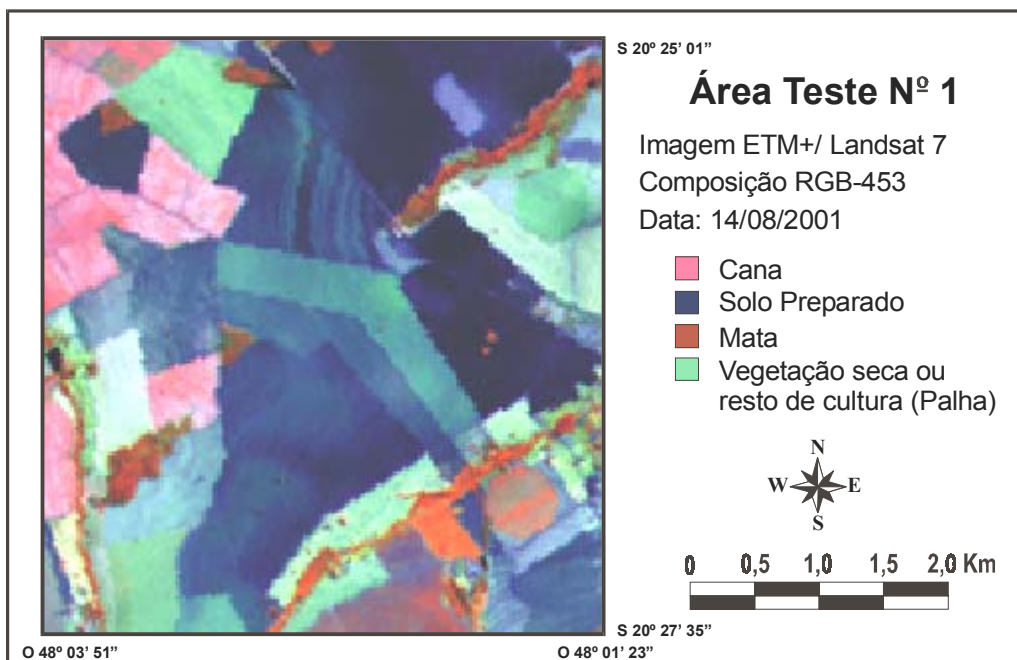


Fig. 3.3 – Área teste 1 - Imagem ETM+ - 14/08/01 – 4(R)5(G)3(B).

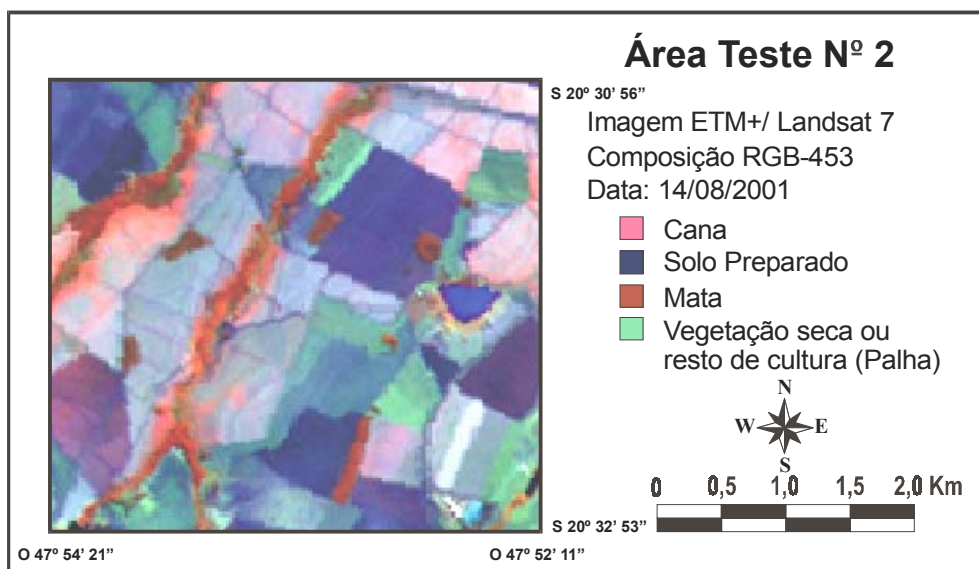


Fig. 3.4 – Área teste 2 - Imagem ETM+ - 14/08/01 – 4(R)5(G)3(B).

### 3.3.6- Segmentação por Crescimento de Regiões

A avaliação e identificação de culturas agrícolas em imagens de sensoriamento remoto é usualmente feita utilizando classificadores supervisionados baseados na informação *pixel a pixel*. Porém, em áreas agrícolas, os talhões configuram regiões onde pixels vizinhos referem-se ao mesmo tipo de cultura, ou seja, o conhecimento do relacionamento entre vizinhos é uma rica fonte de informação que não é geralmente explorada nos classificadores tradicionais (Giannotti, 2001).

Uma alternativa à abordagem de classificação baseada no *pixel* é a classificação por regiões. Esta tem como etapa fundamental a segmentação, que envolve a delimitação de áreas homogêneas na imagem, para a posterior associação destas áreas a classes de informação (Barros et al., 2001).

A delimitação das unidades agrícolas possibilita também a quantificação da área plantada com cada cultura, fornecendo assim as informações necessárias ao cálculo da estimativa da safra de uma região de interesse. A extração dos limites agrícolas sobre dados orbitais pode ser obtida via segmentação manual por meio de interpretação visual ou segmentação automática por meio de algoritmos de segmentação.

Burrough e McDonnell (1998) declaram que o operador pode introduzir erros no processo de digitalização dos limites de um mapa em um Sistema de Informações Geográficas. No caso da agricultura, este trabalho de digitalização dos limites agrícolas torna-se muito oneroso quando se trata de dimensões municipais, estaduais ou em áreas maiores.

Com o propósito de automatizar o processo de extração dos limites entre os talhões agrícolas, para toda a área de estudo, e utilizar os recursos computacionais de forma eficaz, optou-se pela segmentação automática da imagem através do algoritmo crescimento de regiões implementado no programa SPRING. Em todas as segmentações efetuadas na metodologia da presente pesquisa foram utilizadas as bandas de 1 a 5, e banda 7, do sensor ETM+.

Este algoritmo fornece, ao fim do processo de segmentação, regiões uniformes identificadas por segmentos fechados, o que atende perfeitamente aos princípios de uma cena cujo uso do solo é tipicamente agrícola, onde os talhões agrícolas possuem interior uniforme (mesma cultura) e os limites (de formas conhecidas) bem definidos no terreno. Além disso, o algoritmo crescimento de regiões é interativo com o usuário, o que possibilita uma variação de limiares para melhor atender ao *tipo de aplicação* definido.

### **3.3.7- Otimização do Espaço de Combinações**

Segundo Moura (2000), a técnica de *segmentação por crescimento de regiões* particiona as imagens em regiões espectralmente homogêneas. A execução desta técnica exige a definição das bandas espectrais e dos limiares de *similaridade* e *área*. Esses parâmetros são responsáveis pela qualidade da segmentação.

O algoritmo de segmentação crescimento de regiões implementado no SPRING 3.5 possibilita uma variação de 1 a 50, em intervalos unitários, para os limiares de *similaridade* e de *área*. É importante ressaltar que novas versões do SPRING podem sair sem limitações para a variação dos limiares. Como o objetivo é a definição do melhor conjunto de parâmetros que atendam ao tipo de aplicação estabelecido anteriormente e é grande o número de combinações possíveis para os pares de limiares de *similaridade* e *área* (50 x 50 possibilidades), torna-se necessária uma otimização a fim de identificar qual o par de limiares que vai melhor atender ao objetivo definido, com um número reduzido de combinações. Esta otimização foi feita da seguinte maneira:

- 1) As 2500 combinações possíveis entre os limiares de *similaridade* e *área* foram representadas por um espaço contendo 25 células (C01, C02, ... C25) com 100 combinações de limiares cada. Cada célula passa a ser representada por um único elemento central conforme ilustrado na Figura 3.5;

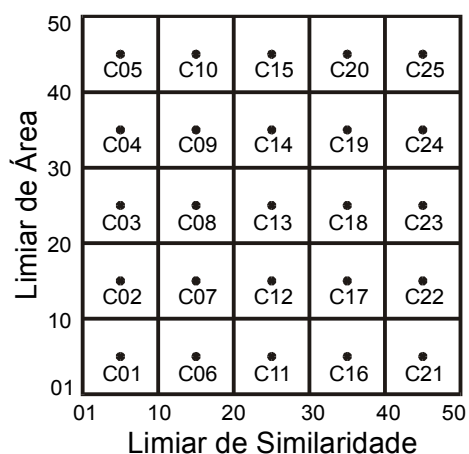


Fig. 3.5 – Representação da divisão do universo de combinações de limiares de similaridade e área, com o posicionamento de seus respectivos elementos centrais.

- a) Determinação dos limiares de *similaridade* e *área* para os elementos centrais de cada célula;

Conforme ilustrado na Figura 3.6, pode-se observar que existem quatro 4 elementos centrais possíveis (limiares 5/5; 5/6; 6/5; 6/6) para a mesma célula, pois os limiares de *similaridade* e *área* exigem, por definição do algoritmo, valores inteiros. Assim, determinou-se que os menores limiares (valores 5 e 5 na Figura 3.6), entre as quatro combinações mais próximas do centro de cada célula, seriam os valores de similaridade e área representativos para o elemento central da célula analisada.

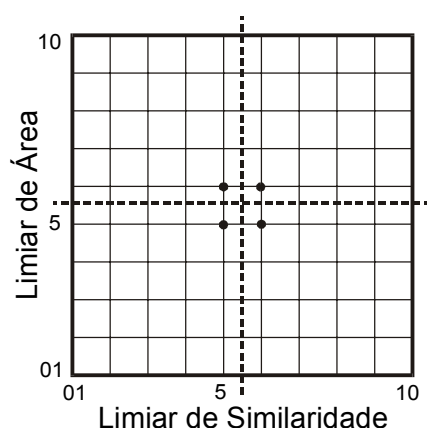


Fig. 3.6 – Ilustração das 4 combinações possíveis que definem o elemento central de célula.

- b) Aplicação do procedimento descrito acima (1-a) para as 25 células (Figura 3.5) e definição por meio do índice IAVAS (item 3.3.10) de qual célula que forneceu o melhor resultado de segmentação;
- 2) Particionamento da célula que apresentou o melhor resultado pelo processo de avaliação (por exemplo: célula C01) em 4 partes iguais e definição dos limiares para os centros de cada quadrante (Q1, Q2, Q3 e Q4), conforme apresentado na Figura 3.7;

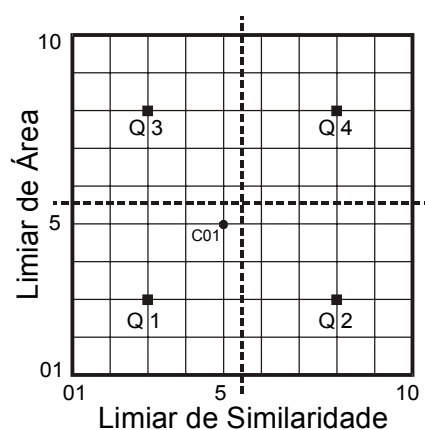


Fig. 3.7 – Divisão da célula de melhor resultado em quadrantes com os respectivos limiares.

- a) Execução da segmentação para os limiares definidos pelos quadrantes Q1, Q2, Q3 e Q4. Posteriormente, através do método de avaliação IAVAS determinar, entre as 29 segmentações (25 segmentações referentes aos elementos centrais e 4 dos quadrantes) executadas até o momento, qual a melhor combinação de limiares dentro da célula selecionada;
- 3) A última etapa do processo de otimização de combinações consiste na segmentação das 25 combinações possíveis, entre limiares de similaridade e área, em torno do melhor par definido na etapa anterior. Essas segmentações são adicionadas ao conjunto de segmentações efetuadas anteriormente, e, pela aplicação do método de avaliação IAVAS, definem-se um ou mais pares de limiares que forneceram os melhores resultados para o tipo de aplicação

definido. Como exemplo, tem-se a Figura 3.8, onde a segunda etapa estabeleceu o quadrante Q1 como o melhor par de limiares; logo, são efetuadas as segmentações para as 25 combinações contidas neste quadrante, as quais são adicionadas ao processo de avaliação.

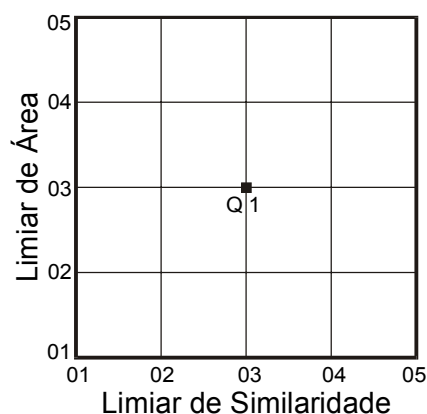


Fig. 3.8 – 25 combinações entre os limiares em torno do melhor par definido na segunda etapa do processo de otimização de combinações.

### 3.3.8- Análise Quantitativa

A avaliação do desempenho do algoritmo de segmentação é um assunto de fundamental importância no processo de segmentação, pois fornece condições objetivas e quantitativas para a escolha do melhor resultado e auxilia no desenvolvimento de novos algoritmos (Zhang, 1996). A avaliação objetiva e quantitativa torna-se ainda mais necessária para o algoritmo crescimento de regiões, visto que não há um valor ideal dos limiares de *similaridade* e *área*, e os mesmos variam de acordo com o material utilizado e o objetivo da segmentação (Nascimento, 1997). A aceitação ou rejeição dos limiares é realizada visualmente por meio da sobreposição da imagem segmentada com a banda original.

Zhang (1997) afirma que para caracterizar a qualidade de uma imagem segmentada e o desempenho do algoritmo aplicado, são necessários certos critérios para o julgamento. Desta forma, o objetivo desta fase é fornecer resultados que permitam avaliar o algoritmo de segmentação do ponto de vista da qualidade das segmentações produzidas, conforme a aplicação definida pelo usuário.

Zhang e Gerbrands (1994) definiram o sistema de avaliação RUMA (Relative Ultimate Measurement Accuracy) baseado em medidas de discrepância, que pode ser adaptado conforme o objetivo da segmentação e de acordo com as características analisadas. Zhang (1996) testou este sistema e concluiu que o RUMA julgou precisamente a qualidade dos resultados da segmentação.

Neste trabalho, o algoritmo de segmentação por crescimento de regiões foi avaliado quantitativamente a partir de medidas de discrepância referentes a uma imagem de referência, utilizando como princípio o sistema RUMA desenvolvido por Zhang e Gerbrands (1994), definido como *Índice para Avaliação de Segmentação (IAVAS)*.

Os parâmetros de discrepância empregados no índice IAVAS para a análise dos resultados das segmentações são: a) número de polígonos; b) comprimento total de linhas; c) variância das áreas dos polígonos; d) centro de massa mais próximo; e e) faixa de coincidência.

Os tópicos a seguir descrevem a influência de cada parâmetro no processo de avaliação, a metodologia empregada na obtenção desses dados sobre as imagens segmentadas e de referência, e a composição do índice para avaliação das segmentações.

### **3.3.8.1-Parâmetros de Avaliação**

O método de avaliação proposto na presente pesquisa é constituído pela medição de cinco parâmetros sobre as imagens de referência e segmentada. Cada parâmetro atende a um objetivo específico como medida de discrepância e busca garantir o melhor resultado do processo de segmentação para o tipo de aplicação definido pelo usuário.

As situações descritas a seguir demonstram a finalidade de cada parâmetro no processo de avaliação.

#### **a) Números de Polígonos**

A extração dos objetos relevantes para a aplicação desejada depende diretamente dos limiares de similaridade e área introduzidos no algoritmo de segmentação por

crescimento de regiões. A manipulação desses limiares deve conduzir o resultado da segmentação a níveis satisfatórios no que tange ao número de objetos identificados. Portanto, o parâmetro *número de polígonos* busca medir a discrepância entre a imagem segmentada e a de referência no que se refere à quantidade de objetos extraídos pelo algoritmo segmentador. A diferença entre o valor obtido para a imagem de referência e para a imagem segmentada reflete uma segmentação excessiva, ou insuficiente, conforme o tipo de aplicação definido (Figura 3.9).

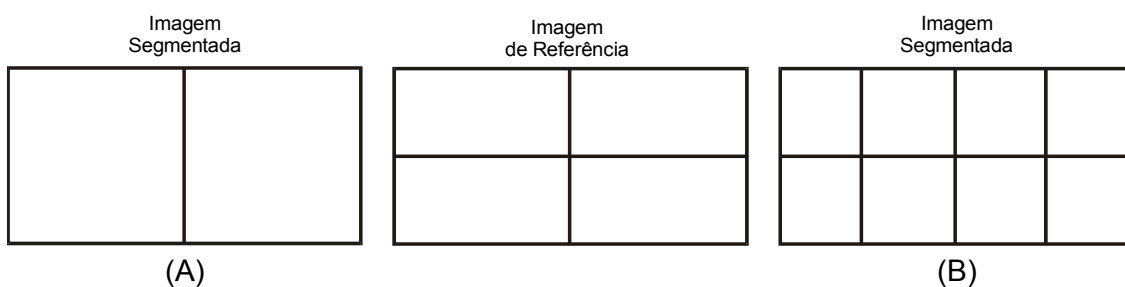


Fig. 3.9 – Parâmetro Número de Polígonos: a) segmentação insuficiente; b) segmentação excessiva.

#### b) Comprimento Total de Linhas

Regiões tipicamente agrícolas possuem seus alvos definidos por formas conhecidas e bem definidas no terreno e em alguns casos determinadas com base nas condições de relevo e nas práticas agrícolas empregadas na região. Tais condições levam a um certo padrão retilíneo para a implantação dos limites dos talhões agrícolas.

Os limites dos talhões da imagem segmentada possuem um nível de detalhe maior do que os da imagem de referência. Este maior detalhamento de limites está relacionado com o princípio de atuação do algoritmo de segmentação por crescimento de regiões, que utiliza o *pixel* como unidade de análise e os limiares de similaridade e área como critérios de decisão. Logo, limites lineares entre alvos adjacentes podem ser representados por linhas irregulares que variam conforme os *pixels* de borda, ocasionando uma divergência da verdadeira feição do limite no terreno.



Esta linearidade dos limites observada na imagem de referência está relacionada ao processo de construção da própria imagem em situações como:

- a) os talhões de formas bem definidas (por exemplo, talhões retangulares) são identificados em campo por pontos localizados apenas em suas extremidades, garantindo deste modo, a linearidade da borda entre a união de pontos consecutivos;
- b) o usuário, durante o processo de interpretação e formação da referência de tela, busca identificar um determinado talhão com apenas a digitalização dos pontos de cada extremidade. Este procedimento proporciona a linearidade entre alvos conforme o objetivo do operador, e conseqüentemente uma redução no tempo de trabalho e no número de pontos para a constituição dos segmentos.

Sendo que o tipo de aplicação estipulada para o segmentador neste trabalho foi a delimitação da área das culturas agrícolas presentes na cena, determinou-se que um parâmetro de discrepância entre os dados analisados pelo processo de avaliação é a extensão total das linhas presentes na imagem segmentada e na de referência.

O parâmetro *comprimento total de linhas* permite identificar diferentes resultados de segmentação que, se forem analisados apenas pelo número de polígonos, pela variância da área e pela distância do centro de massa mais próximo seriam considerados idênticos. A Figura 3.10 retrata uma situação onde as imagens contêm o mesmo número de polígonos, variância da área e mesma posição do centro de massa, mas o comprimento total de linhas utilizado para representar os dois polígonos na imagem segmentada foi superior ao comprimento utilizado na imagem de referência.

#### c) Variância das Áreas dos Polígonos

Geralmente os talhões que constituem uma região agrícola possuem formas conhecidas e bem definidas, porém seus tamanhos são distintos. Com base nesta variação de área foi definido o parâmetro *variância das áreas dos polígonos* como dado de discrepância

entre a imagem segmentada e a de referência, buscando garantir a mesma distribuição estatística dos alvos.

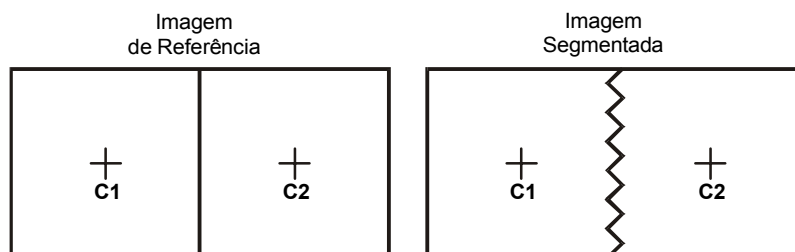


Fig. 3.10 – Segmentos com diferentes medidas de comprimento.

Este parâmetro permite identificar diferentes resultados de segmentação que, ao serem analisados pelo número de polígonos, pelo comprimento total de linhas e pela distância do centro de massa mais próximo são considerados idênticos. A Figura 3.11 é um exemplo desta situação, onde as imagens de referência e segmentada somente são consideradas diferentes quando se analisa a variância das áreas dos polígonos.

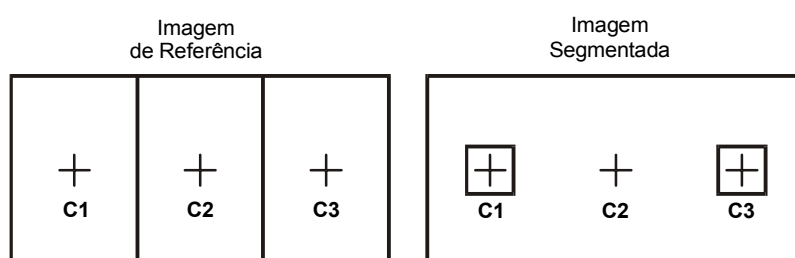


Fig. 3.11 – Imagens com diferentes valores para variância da área.

#### d) Centro de Massa mais Próximo

Os parâmetros de discrepância descritos até o momento não garantem a coesão entre as imagens segmentada e a de referência. Portanto, necessita-se de um parâmetro que determine a coerência espacial dos segmentos da imagem segmentada com os da imagem de referência. O parâmetro *centro de massa mais próximo* busca estimar esta coerência por meio da localização espacial dos centros de massa dos polígonos.

Os polígonos das imagens são representados por um centro de massa de coordenadas conhecidas. A distância euclidiana entre os centros de massa da imagem de referência

para a imagem segmentada permite identificar diferentes resultados do processo de segmentação que, ao serem analisados apenas pelo número de polígonos, comprimento total de linhas e variância das áreas dos polígonos, seriam considerados idênticos. Um exemplo para esta situação está apresentado na Figura 3.12, onde as imagens de referência e segmentada são consideradas diferentes somente quando for analisada a localização do centro de massa para cada polígono.

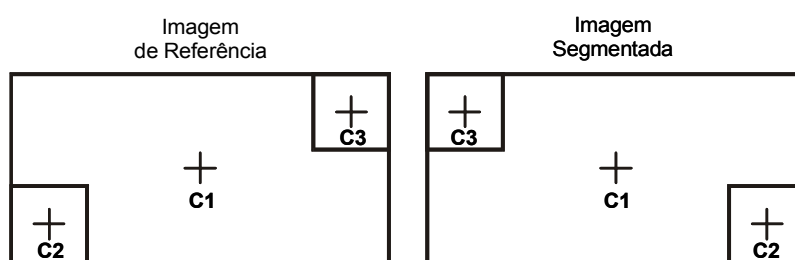


Fig. 3.12 – Centros de massa dos polígonos

#### e) Faixa de Coincidência

Os parâmetros de discrepância número de polígonos, comprimento total de linhas, variância das áreas dos polígonos e centro de massa asseguram uma coerência entre os polígonos, com relação à quantidade, ao tamanho e à posição dos segmentos dentro das imagens. Entretanto, em situações em que os segmentos são rotacionados em seu centro de massa, os parâmetros anteriores não são capazes de identificar a discrepância na localização de seus limites.

Buscando avaliar melhor a semelhança entre a imagem segmentada e a imagem de referência, foi determinado como quinto parâmetro de discrepância a *faixa de coincidência* entre as imagens. A sua finalidade é a de unir a posição e o tamanho dos polígonos com a forma de suas bordas na comparação das imagens. Este parâmetro consiste em quantificar os *pixels* da imagem segmentada que são coincidentes com os *pixels* da imagem de referência. Tal procedimento é efetuado após a conversão do dado vetorial para matricial e a sobreposição dos mesmos.

A *faixa de coincidência* permite identificar diferentes resultados de segmentação que, ao serem analisados apenas pelo número de polígonos, comprimento total de linhas,

variância das áreas dos polígonos e centro de massa mais próximo, seriam considerados idênticos. A Figura 3.13 é um exemplo desta situação, onde as imagens de referência e segmentada são consideradas diferentes somente quando analisadas pelo parâmetro faixa de coincidência.

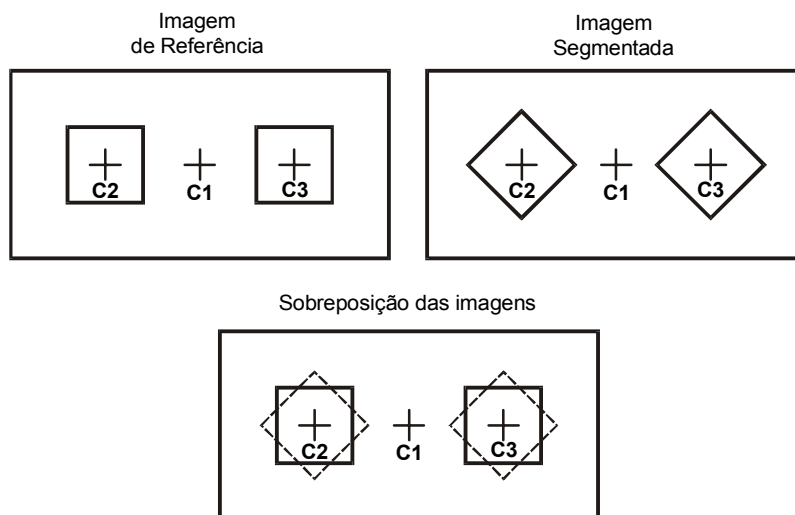


Fig. 3.13 – Faixa de coincidência entre polígonos.

### 3.3.9- Determinação dos Parâmetros de Discrepância sobre as Imagens Segmentadas

Para melhor compreensão e visualização do processo de aquisição dos parâmetros de discrepância (descritos no item anterior) sobre as imagens, definiu-se como modelo exemplificador a segmentação *ImgSeg4050*, cujos limiares de similaridade e área estabelecidos no algoritmo de segmentação por crescimento de regiões foram 40 e 50, respectivamente.

Os mesmos procedimentos efetuados sobre as imagens segmentadas para quantificação de cada parâmetro de discrepância são repetidos sobre a imagem de referência, possibilitando assim calcular a discrepância entre os dados e a determinação do índice para avaliação de segmentação (IAVAS).

## 1) Número de Polígonos

Para retratar os limites presentes em campo pelos talhões agrícolas, é importante que os segmentos extraídos pelo algoritmo tenham suas extremidades conectadas (sem falhas nas bordas). Este requisito está garantido com o algoritmo segmentador por crescimento de regiões, cujo resultado do processo de segmentação é uma imagem binária, de polígonos fechados e com cada região apresentando um rótulo (INPE, 2002b).

Portanto, o parâmetro de discrepância *número de polígonos* é expresso pela quantidade de rótulos presentes na imagem após a segmentação (Figura 3.14). No modelo definido como exemplo, o número de polígonos é oito.

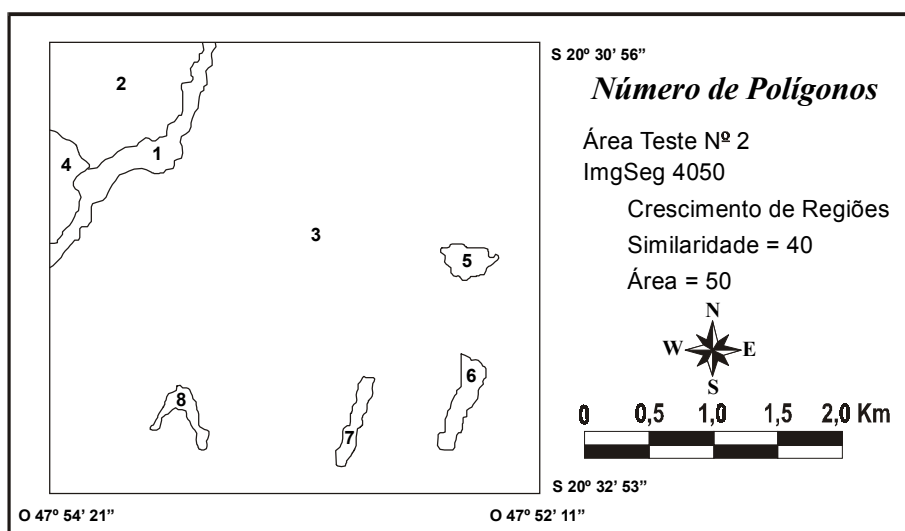


Fig. 3.14 – Número de Polígonos na ImgSeg4050.

## 2) Comprimento Total de Linhas

Este parâmetro quantifica a extensão de todos os arcos utilizados para representar os polígonos extraídos no processo de segmentação. É importante considerar que, através da representação vetorial, arco e nó, os arcos que definem polígonos terão suas medidas contabilizadas apenas uma vez, como pode ser observado na Figura 3.15, através dos arcos 3, 6 e 8. A figura mencionada apresenta também as grandezas dos arcos que formam os polígonos segmentados na ImgSeg4050. No exemplo em questão, o *comprimento total de linhas* presentes no plano segmentado é 27,114 km.

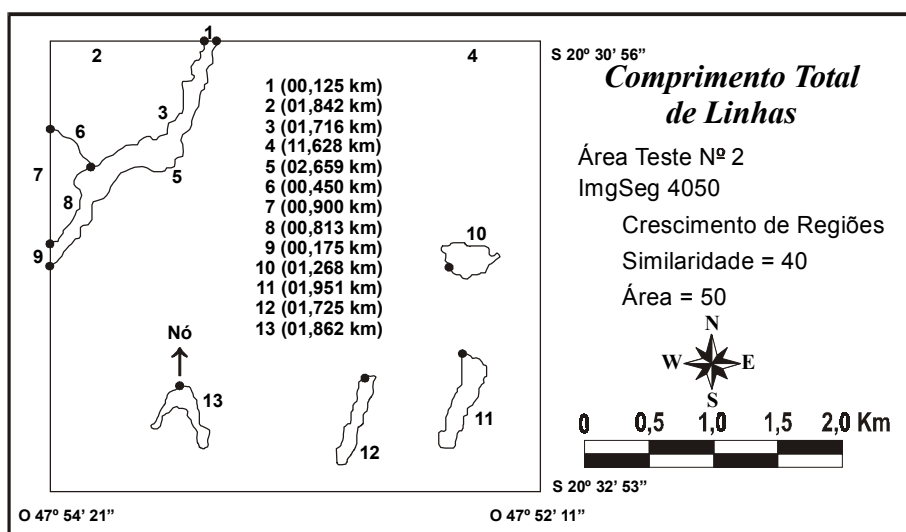


Fig. 3.15 – Comprimento das Linhas na ImgSeg4050.

### 3) Variância das Áreas dos Polígonos

Nesta etapa é necessário o cálculo da área de cada polígono da imagem segmentada, para posterior cálculo da variância. A Tabela 3.2 apresenta os valores de área para cada polígono presente na ImgSeg4050 bem como o valor da variância calculado pela equação 3.2.

$$VAR = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n(n-1)} \quad (3.2)$$

onde:

n = número de polígonos;

$x_i$  = área do polígono i;

TABELA 3.2– VARIÂNCIA DAS ÁREAS DOS POLÍGONOS DA IMGSEG4050

Polígono	1	2	3	4	5	6	7	8
Área (km <sup>2</sup> )	0,345	0,832	11,823	0,145	0,081	0,116	0,071	0,069
<b>Variância de ImgSeg4050 (km<sup>4</sup>)</b>							<b>16,847</b>	

#### 4) Centro de Massa mais Próximo

A partir da imagem segmentada foi gerado um plano informações com entidades pontuais que representam os centros de massa de cada polígono, conforme a Figura 3.16.

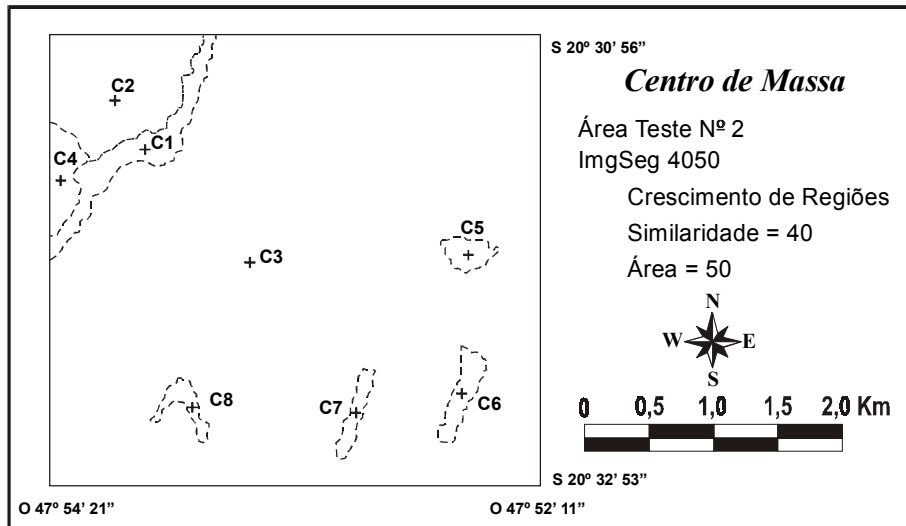


Fig. 3.16 – Centros de massa da ImgSeg4050.

Este parâmetro de discrepância calcula a distância euclidiana (equação 3.3) entre o centro de massa de cada polígono na imagem de referência e o centro de massa de cada polígono da imagem segmentada (Figura 3.17a).

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x'_j)^2 + (y_i - y'_j)^2} \quad (3.3)$$

onde:

i = número do centro de massa analisado na imagem de referência;

j = número do centro de massa analisado na imagem segmentada;

$x_i$  e  $y_i$  = coordenadas x e y do ponto i;

$x'_j$  e  $y'_j$  = coordenadas x e y do ponto j;

Em algumas ocasiões é impossível identificar os polígonos equivalentes nas imagens de referência e segmentada e seus respectivos centros de massa para o cálculo da distância. Por este motivo as distâncias foram calculadas para o número total de combinações possíveis entre os centros de massa da imagem de referência com os da imagem segmentada (Figura 16b).

Após a estimativa de todas as distâncias, foi calculada a média aritmética dos menores valores obtidos de cada combinação. Este valor passou a representar o parâmetro de discrepância *centro de massa mais próximo*.

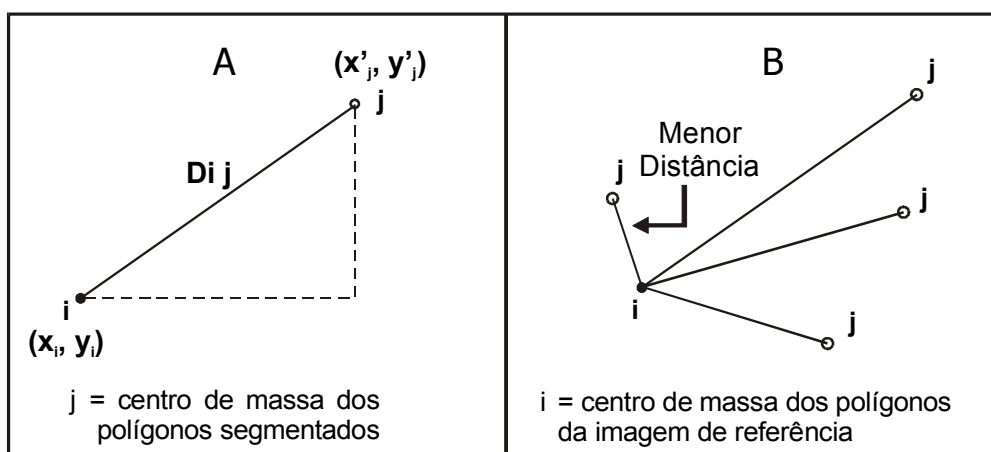


Fig. 3.17 – Distância entre os centros de massa: a) distância euclidiana entre os centros; b) menor distância entre os centros de massa.

O valor zero como resultado da média das menores distâncias representa a situação ideal para a discrepância entre as imagens de referência e a segmentada, quando se analisa este parâmetro.

### 5) Faixa de Coincidência

O objetivo deste parâmetro é avaliar a sobreposição espacial dos segmentos que compõem os polígonos da imagem de referência e da imagem segmentada. Para medir este parâmetro de discrepância foi utilizada a operação *tabulação cruzada* implementada no programa SPRING.



Esta operação permite calcular a área das intersecções entre as classes de dois planos de informação (PI's) temáticos no formato matricial. Os dados devem apresentar a mesma resolução horizontal e vertical, o mesmo número de linhas e colunas (“*pixels*”) e compreender as mesmas coordenadas no terreno (INPE, 2002c).

O processo de conversão vetor-matriz (ou vetor-varredura) utiliza os vetores presentes nos (PI's) das imagens de referência e segmentada. Para ambas as imagens é atribuída uma classe temática aos vetores. Esta conversão pode ser feita através da sobreposição do vetor, ou elemento linear a uma matriz varredura. Desta forma, são identificados quais elementos de varredura estão cruzando a linha, os quais são codificados com os atributos ou os valores de classe associados à linha.

A imagem de referência tem um importante papel em todo o processo de avaliação da segmentação. Como a geração desta imagem depende da interferência do operador, definiu-se uma faixa de tolerância ao longo das linhas que definem os polígonos na imagem de referência com o objetivo de compensar possíveis erros no processo de digitalização ou na aquisição dos dados em campo. De acordo com Burrough e McDonnell (1998), tais erros podem ser introduzidos no sistema pelo operador.

Para a presente pesquisa, os possíveis erros mencionados estão relacionados a seguir:

- a) No processo de digitalização para a formação da *referência de tela* o operador trabalha em um escala compatível com a resolução da imagem para identificar e extrair as regiões de interesse. Em alguns casos esta escala impossibilita ao operador identificar detalhes entre as bordas dos alvos adjacentes, os quais são reconhecidos pelo algoritmo de segmentação, pois o operador utiliza um conjunto de *pixels* no seu critério de decisão, enquanto o algoritmo baseia-se em características intrínsecas do *pixel*. A transição gradual do nível digital dos *pixels* presentes entre talhões adjacentes aumenta ainda mais a possibilidade de ocorrência de erros tanto no processo de digitalização, pelo operador, como na agregação dos mesmos à regiões vizinhas, pelo algoritmo de segmentação.

b) Para a imagem *referência de campo*, além dos erros anteriormente descritos, estão presentes os possíveis erros sistemáticos originados no processo de coleta dos dados através dos receptores GPS. Em alguns casos, os pontos escolhidos em campo para a aquisição das coordenadas não representam com fidelidade a mesma feição na imagem, pois um *pixel* possui resposta espectral de uma região correspondente a aproximadamente  $625 \text{ m}^2$  ( $25 \times 25 \text{ m}$ ) sobre o terreno.

A busca de uma escala ideal para a interpretação e digitalização da imagem de referência é de extrema importância, pois o resultado deste processo influencia diretamente na qualidade do índice de avaliação de segmentação (IAVAS).

Partindo do princípio que o segmentador por crescimento de regiões trabalha sobre o *pixel* no processo de segmentação, a faixa de tolerância nesta pesquisa foi definida com base na resolução espacial do dado orbital utilizado. Logo, uma zona correspondente a 25 metros foi gerada ao longo de cada lado das linhas presentes na imagem de referência.

Esta zona, após o processo de transformação vetor-matriz, terá a mesma dimensão que um *pixel* da imagem ETM+. Tal correlação é fundamental no processo de avaliação do parâmetro de discrepância *faixa de coincidência*, pois possibilita a redução ou eliminação dos erros descritos anteriormente durante a extração ou identificação da linha divisória entre regiões adjacentes. Em outras palavras, se um *pixel* da linha segmentada é atribuído ao talhão adjacente, a suposta diferença com a linha de referência será anulada pela faixa de tolerância. Da mesma forma, se um limite na imagem de referência for identificado um *pixel* acima ou um *pixel* abaixo de sua correta posição, e em paralelo o segmentador extrair o mesmo limite corretamente, o suposto erro de discrepância entre a imagem segmentada e a imagem de referência será anulado pela faixa de tolerância.

A Figura 3.18 apresenta um exemplo gráfico para a melhor compreensão do processo de conversão e quantificação do parâmetro *faixa de coincidência*, cujos procedimentos foram efetuados pelos seguintes passos:

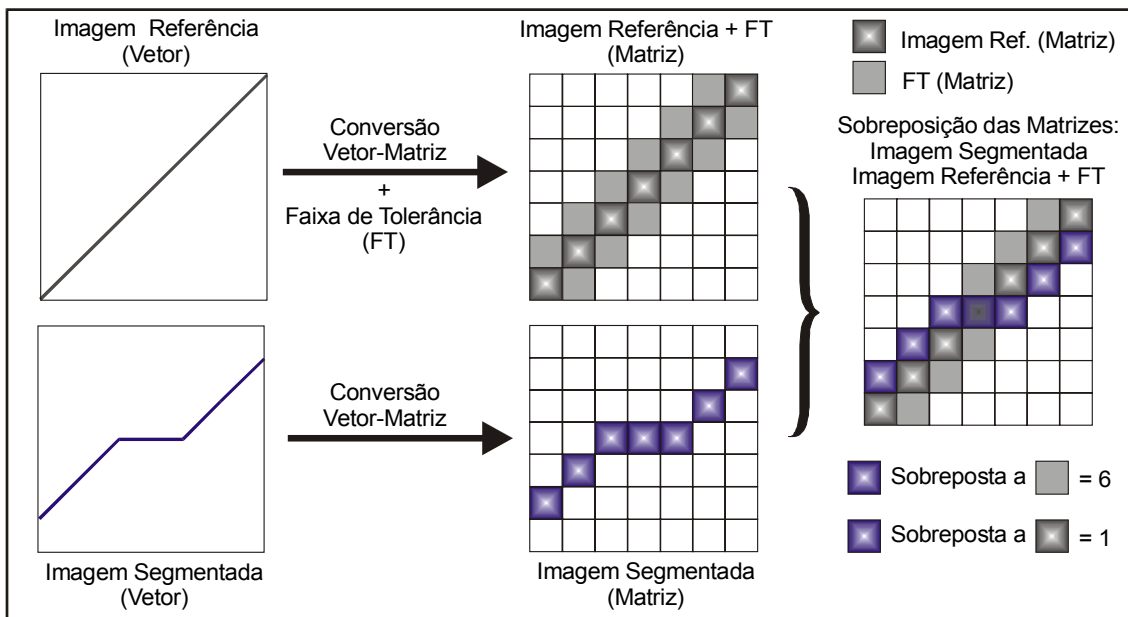


Fig. 3.18 – Procedimentos para determinação da Faixa de Coincidência.

- 1) A partir do plano vetorial de referência gerou-se o mapa de distância e, posteriormente, a faixa de tolerância (FT) ao longo dos segmentos;
- 2) Transformação dos planos vetoriais da imagem de referência e da imagem segmentada para planos matriciais;
- 3) Determinação do número de quadrículas (equivalentes a *pixels*) utilizadas para representar o plano de referência. Com base na Figura 3.18 percebe-se que foram necessárias sete quadrículas (as mais escuras) para representar a linha presente no plano de referência;
- 4) Sobreposição das Matrizes Imagem Segmentada e Imagem Referência (adicionada da FT);
- 5) Quantificação do número de quadrículas coincidentes entre a matriz da imagem segmentada e a matriz da imagem referência (adicionada da FT). São consideradas as quadrículas sobrepostas tanto no segmento de referência como na faixa ao longo deste segmento. Neste exemplo foram identificadas seis

quadrículas sobre a faixa de tolerância e uma sobre o segmento de referência, dando no total sete quadrículas coincidentes.

Percebe-se pela Figura 3.18 que o parâmetro faixa de coincidência analisa e indica que os planos são semelhantes, apesar da divergência entre os vetores. Esta semelhança está representada pela igualdade entre o número de quadrículas sobrepostas com o número definido na imagem de referência.

### **3.3.10- Índice para Avaliação de Segmentação (IAVAS)**

O *índice para avaliação de segmentação* (IAVAS) é determinado a partir da análise de cada parâmetro de discrepância sobre a imagem segmentada e a imagem de referência (referência de tela ou referência de campo).

Os cinco parâmetros de discrepância que compõem o índice IAVAS possuem escalas e unidades distintas. Logo, para que o índice de avaliação reflita de forma uniforme a influência dos parâmetros, foi efetuada uma normalização.

De acordo com Luiz (2002c), o processo de normalização de um conjunto de valores é executado para homogeneizar variáveis de escalas e comportamentos diferentes. Geralmente o conjunto de valores é transformado de forma a se ajustar aproximadamente a uma distribuição normal (ou gaussiana) de média igual a zero e variância igual a um. Isso é obtido subtraindo-se de cada valor observado ( $X_i$ ) valor da média ( $\bar{X}$ ) e depois dividindo-se pelo desvio padrão ( $S$ ), ou seja, os valores transformados ( $X_{it}$ ) ficam iguais a:

$$X_{it} = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$$

Luiz (2002c) relata que a normalização não necessariamente deve produzir uma distribuição com média zero. Desta forma, escolheu-se na presente pesquisa uma transformação que levasse a média transformada a assumir um valor qualquer, desde que garantisse que o valor mínimo encontrado no conjunto de valores originais assumisse o valor zero no conjunto de dados transformados. Isso foi obtido subtraindo-

se de cada valor observado o menor valor de todo o conjunto ( $X_{\text{mínimo}}$ ) e depois dividindo-se pelo desvio padrão, ou seja:

$$X_{it}^* = \frac{X_i - X_{\text{mínimo}}}{S}$$

(\*) – normalização empregada sobre os parâmetros que compõem o IAVAS.

Todo este processo para obtenção do índice pode ser dividido nas seguintes etapas:

1) Obtenção das diferenças absolutas de cada parâmetro de discrepância entre a imagem de referência e a imagem segmentada;

a) Número de polígonos –  $NP \Rightarrow (|NP_R - NP_S|)$

$NP_R$  = número de polígonos da imagem de referência;

$NP_S$  = número de polígonos da imagem segmentada;

b) Comprimento total de linhas –  $L \Rightarrow (|L_R - L_S|)$

$L_R$  = comprimento total das linhas presentes na imagem referência;

$L_S$  = comprimento total das linhas presentes na imagem segmentada;

c) Variância das áreas dos polígonos –  $VA \Rightarrow (|VA_R - VA_S|)$

$VA_R$  = variância das áreas dos polígonos da imagem referência;

$VA_S$  = variância das áreas dos polígonos da imagem segmentada;

d) Centro de massa mais próximo –  $C \Rightarrow (C_{R-S})$

$C_{R-S}$  = média das menores distâncias entre os centros de massa da imagem de referência para os centros de massa da imagem segmentada;

$$e) \text{ Faixa de coincidência} - FC \Rightarrow \left( \left| NQ_R - NQ_{S \equiv (R+FT)} \right| \right)$$

$NQ_R$  = número de quadrículas da imagem de referência;

$NQ_{S \equiv (R+FT)}$  = número de quadrículas da imagem segmentada coincidentes com as quadrículas da imagem de referência acrescida da faixa de tolerância (FT);

2) Normalização dos resultados obtidos na etapa 1;

MVDA = menor valor das diferenças absolutas para o parâmetro analisado;

DPDA = desvio padrão das diferenças absolutas para o parâmetro analisado;

3) Soma dos cinco parâmetros normalizados para a constituição do índice IAVAS.

A equação 3.4 descreve as etapas anteriores:

$$IAVAS = \left\{ \left[ \frac{\left( \left| NP_R - NP_S \right| \right) - MVDA_{NP}}{DPDA_{NP}} \right] + \left[ \frac{\left( \left| L_R - L_S \right| \right) - MVDA_L}{DPDA_L} \right] + \left[ \frac{\left( \left| VA_R - VA_S \right| \right) - MVDA_{VA}}{DPDA_{VA}} \right] \right. \\ \left. + \left[ \frac{\left( \left| C_{R-S} \right| \right) - MVDA_C}{DPDA_C} \right] + \left[ \frac{\left( \left| NQ_R - NQ_{S \equiv (R+FT)} \right| \right) - MVDA_{FC}}{DPDA_{FC}} \right] \right\} \quad (3.4)$$

O índice IAVAS possui valores maiores ou iguais a zero. O valor *nulo* é considerado ideal para representar a qualidade da segmentação, conforme a metodologia desenvolvida neste trabalho.

Nesta pesquisa foi calculado um índice para avaliação de segmentação (IAVAS) para cada combinação de limiares de similaridade e área analisada e, entre elas, a de menor valor de IAVAS foi adotada como o melhor resultado do processo de segmentação.

### 3.3.11- Análise dos Resultados entre Áreas Testes

Para cada área teste foram obtidos os limiares de *similaridade* e *área* de melhor resultado no processo de segmentação. Como existe a probabilidade de estas áreas apresentarem combinações (limiares de similaridade e área) distintas, é necessária a

escolha de um único par de limiares para a segmentação de toda a cena. Desta forma, a seguir estão descritos os critérios de decisão necessários para a análise dos resultados obtidos em cada área teste e, conseqüentemente, a determinação dos limiares a serem aplicados em toda a área de estudo:

- 1) Determinar através do índice IAVAS o par de limiares (similaridade e área) que forneça a melhor segmentação para cada área teste;
- 2) Se os limiares de similaridade e área definidos na área 1 após o processo de avaliação, forem os mesmos para a área 2, conclui-se que este par de limiares deve ser aplicado para toda a cena. Caso esta igualdade não ocorra, efetuam-se os passos seguintes;
- 3) O par de limiares definido no item I para a área 1 é aplicado sobre a área 2, e o par definido para a área 2 é aplicado sobre a área 1;
- 4) Calcular novamente o índice IAVAS incluindo as novas segmentações definidas no item III para cada área teste. O par de similaridade e área que apresentar resposta afirmativa para as perguntas “a” e “b”, descritas a seguir, será aplicado para toda a área de estudo:
  - a) o par da área 1 (definido no item I) foi o melhor resultado na área 2?
  - b) o par da área 2 (definido no item I) foi o melhor resultado na área 1?
    - Se ambas as perguntas forem positivas, o limiar escolhido será aquele que fornecer o índice IAVAS mais próximo de zero;
    - Se as perguntas anteriores apresentarem respostas negativas, deverão ser calculados os seguintes valores:
      - diferença dos índices de avaliação entre o par de limiares que forneceu o melhor resultado na área 1 (item I) para o par da área 2 aplicado sobre a área 1 (definido pelo item III);

- diferença dos índices de avaliação entre o par de limiares que forneceu o melhor resultado na área 2 (item I) para o par da área 1 aplicado sobre a área 2 (definido pelo item III);

A segmentação que gerar a menor diferença entre os índices é aplicada em toda a área de estudo.



## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados de modo a permitir a avaliação e a comparação das imagens segmentadas, por meio do índice IAVAS, conforme os limiares de entrada definidos no algoritmo de segmentação por crescimento de regiões presente no SPRING.

#### 4.1- REGISTRO DA IMAGEM ETM+

As coordenadas da imagem (linha e coluna) foram associadas às coordenadas geográficas (latitude e longitude) da área de estudo por meio da transformação baseada em pontos de controle.

A imagem de 14 de agosto de 2001 foi corrigida através das coordenadas de pontos de controle obtidas por GPS durante o levantamento de campo destinado à construção da imagem de referência. Com base no nível de correção 1G da imagem, foram definidos 4 pontos de controle e 7 pontos de teste entre os 400 pontos levantados por GPS em campo. A precisão obtida com polinômio de 1º grau foi de 0,272 *pixels* e 0,476 *pixels* para os pontos de controle e de teste, respectivamente. Este erros equivalem a 6,80 m e 11,90 m no terreno, na mesma ordem.

#### 4.2- IMAGENS DE REFERÊNCIA

A metodologia proposta neste trabalho adota duas formas para a confecção das imagens de referência. A primeira, intitulada *Referência de Campo*, baseia-se no levantamento de campo para a extração dos limites entre os alvos presentes na região em estudo. Já a segunda, nomeada *Referência de Tela*, consiste na obtenção dos limites através de uma digitalização em tela com base na interpretação visual, experiência e objetivo do operador.

#### 4.2.1- Referência de Campo

Para a identificação espacial das fronteiras agrícolas em campo, dentro da área de estudo, foi utilizado o GPSIII Plus-Garmin operando no módulo de levantamento estático. Durante a coleta das coordenadas para cada ponto, calculou-se a média das coordenadas para a definição final da posição do ponto utilizando a função *average position* do receptor GPS. Esta função permite estimar a média do sinal recebido, reduzindo o efeito do erro estimado de posição (EPE), resultando em uma leitura de posição mais precisa (GARMIN, 1999).

##### 4.2.1.1- Levantamento da Referência de Campo na Área Teste N° 1

Após a definição das dimensões da área teste, iniciou-se a coleta dos pontos correspondentes aos limites dos alvos agrícolas que melhor representassem a realidade de campo para o período de 22 a 24 de agosto de 2001. Em toda a área 1 foram levantados cerca de 185 pontos por GPS, conforme a Figura 4.1.

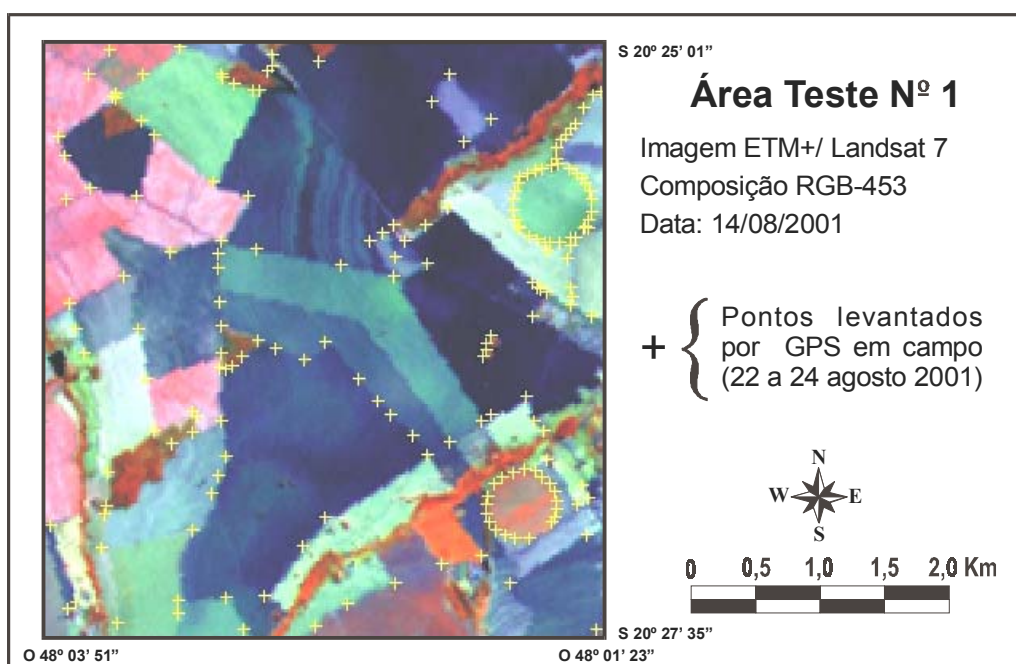


Fig. 4.1 - Pontos GPS coletados na área teste nº 1.

Os pontos coletados em campo pelo GPS foram plotados em um plano de informação, e posteriormente sobrepostos à imagem ETM+ de 14/08/01, com o objetivo de auxiliar a

união dos mesmos para a constituição dos limites agrícolas. A conclusão desta etapa resultou na imagem *referência de campo*, para a área 1, representada na Figura 4.2.

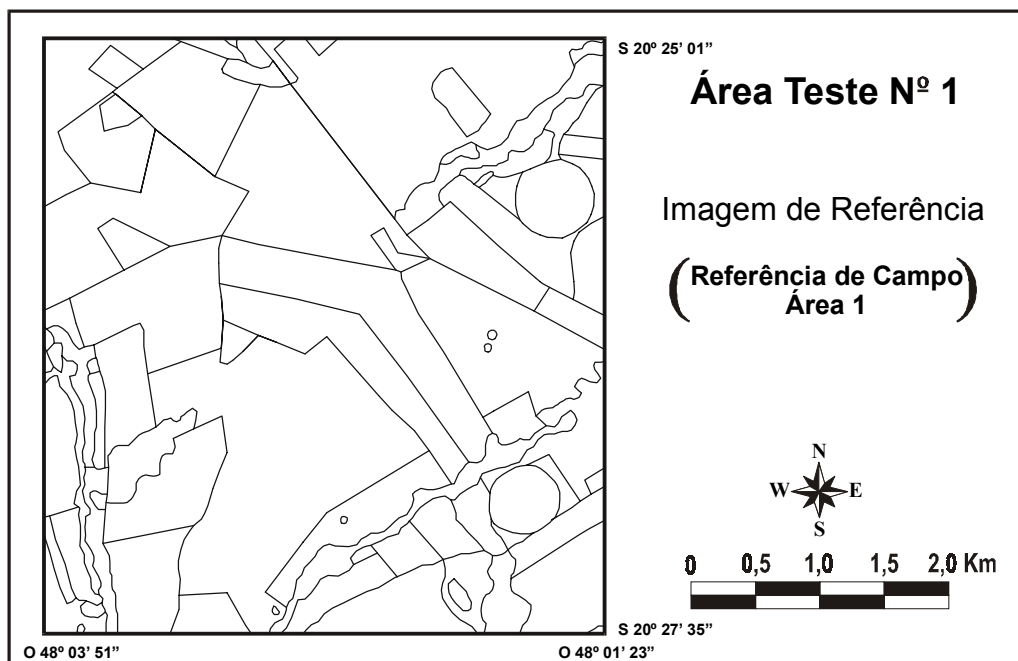


Fig. 4.2 - Referência de Campo da área teste nº 1.

#### 4.2.1.2- Levantamento da Referência de Campo na Área Teste Nº 2

O mesmo procedimento foi adotado para a coleta de dados na área 2, onde foram levantados 215 pontos de GPS para a extração dos limites físicos dos alvos agrícolas. A disposição dos pontos levantados em campo está apresentada na Figura 4.3.

A Figura 4.4 representa a *referência de campo* da área 2 obtida através do delineamento dos alvos a partir dos pontos GPS, utilizando como auxílio a imagem de 14/08/01.

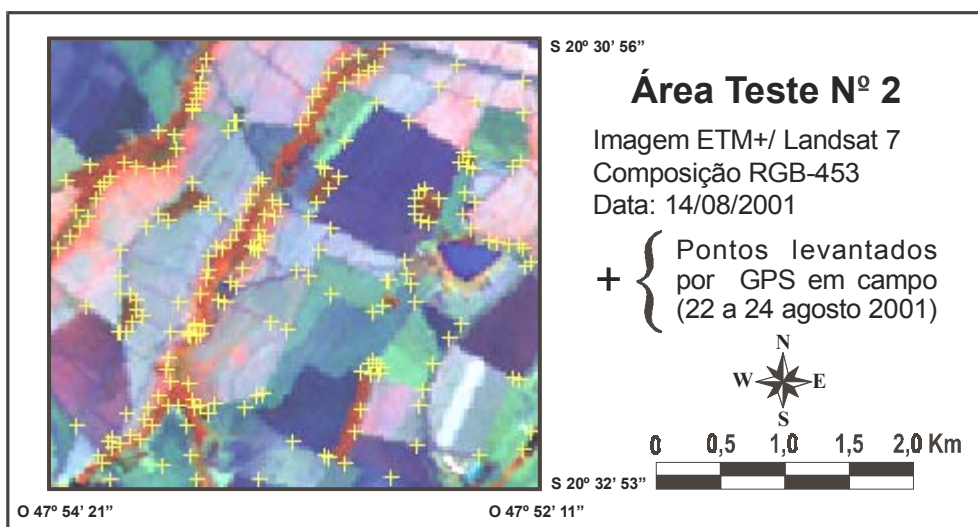


Fig. 4.3 - Pontos GPS coletados na área teste nº 2.

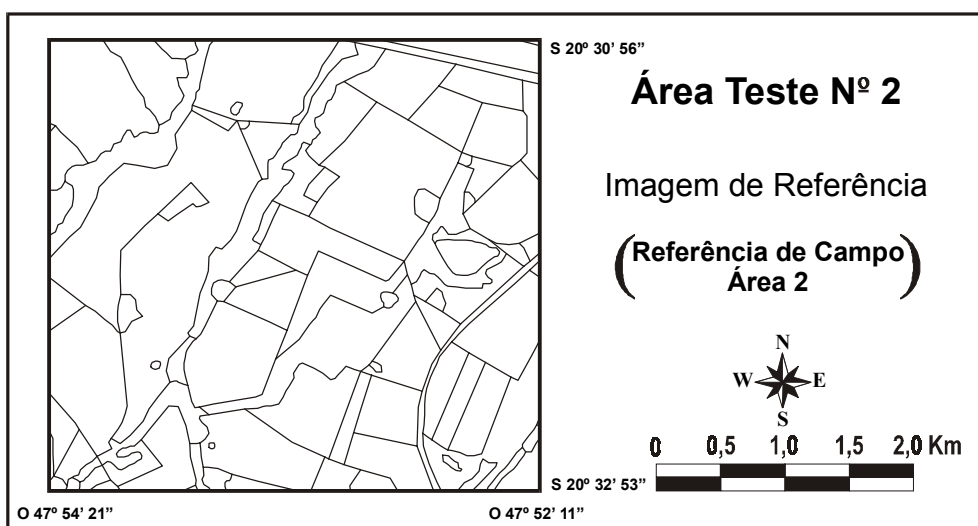


Fig. 4.4 - Referência de Campo da área teste nº 2.

#### 4.2.2- Referência de Tela

As imagens de referência obtidas através da *referência de tela* foram constituídas mediante interpretação da imagem e digitalização dos limites dos talhões, pelo operador, via tela, conforme o *tipo de aplicação* definido na presente pesquisa. As Figuras 4.5 e 4.6 representam a *referência de tela* para as áreas 1 e 2, respectivamente.

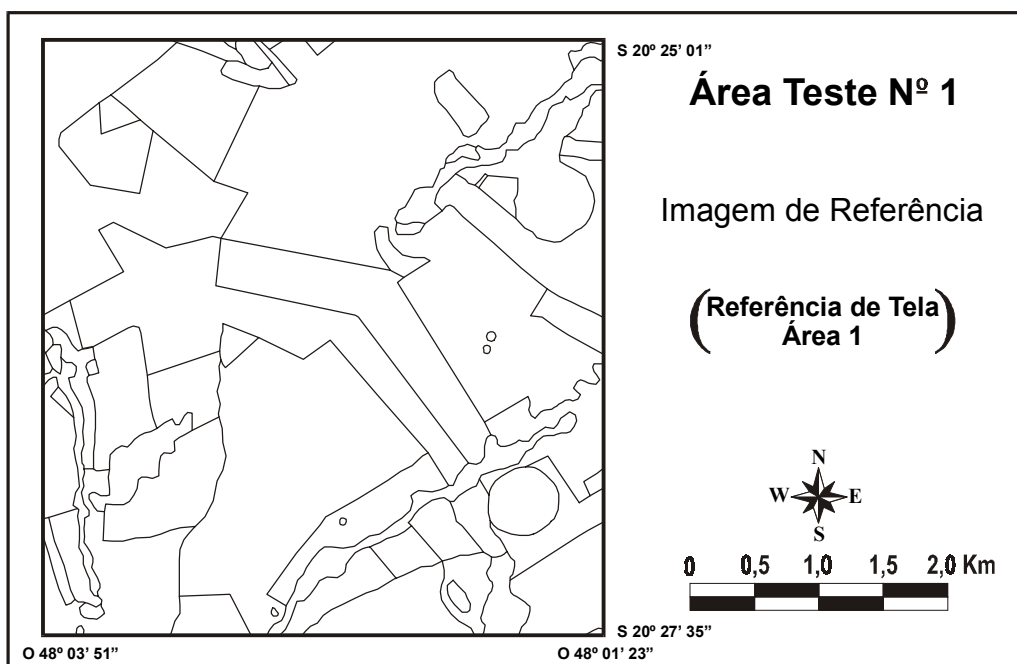


Fig. 4.5 - Referência de Tela da área teste nº 1.

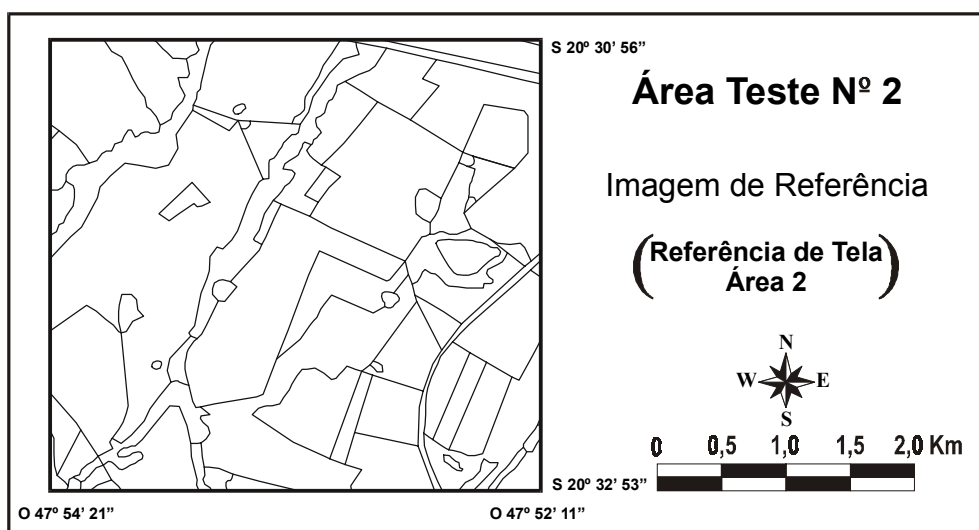


Fig. 4.6 – Referência de Tela da área teste nº 2.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam alguns dados numéricos relativos às imagens de referência, obtidas através do levantamento de campo e interpretação via tela, para as áreas testes.

TABELA 4.1- COMPARAÇÃO ENTRE AS IMAGENS DE REFERÊNCIA  
OBTIDAS NA ÁREA TESTE Nº1

<i>Referência</i>	<i>Área Total (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Comprimento Total dos Segmentos (km)</i>	<i>Número de Polígonos</i>	<i>Variância das Áreas dos Polígonos (km<sup>4</sup>)</i>	<i>Número de Quadriculas (após o processo vetor-matriz)</i>
<b>Campo</b>	20,343	104,342	82	0,158	3718
<b>Tela</b>	20,343	93,074	67	0,408	3466

TABELA 4.2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS IMAGENS DE REFERÊNCIA  
OBTIDAS NA ÁREA TESTE Nº2

<i>Referência</i>	<i>Área Total (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Comprimento Total dos Segmentos (km)</i>	<i>Número de Polígonos</i>	<i>Variância das Áreas dos Polígonos (km<sup>4</sup>)</i>	<i>Número de Quadriculas (após o processo vetor-matriz)</i>
<b>Campo</b>	13,483	87,185	94	0,054	3175
<b>Tela</b>	13,483	81,410	77	0,082	2969

#### 4.3- ÍNDICE IAVAS COM BASE NA REFERÊNCIA DE CAMPO

Para melhor compreensão da metodologia aplicada neste trabalho no que se refere ao número de áreas testes e imagens de referência, os resultados foram descritos em duas fases: a primeira analisou a influência da imagem *referência de campo* no processo de avaliação das segmentações através do índice IAVAS sobre cada área teste. A segunda fase determinou, entre os resultados obtidos na fase anterior, o melhor par de limiares a ser aplicado em toda a área de estudo.

##### 4.3.1- Área teste Nº 1

A Figura 4.7 representa a divisão inicial do processo de *otimização do espaço de combinações*, descrito no item 3.3.7, onde se faz necessária a definição de 25 elementos centrais como o primeiro conjunto de dados a serem analisados pelo IAVAS. Os valores definidos para os limiares de similaridade e área nesta primeira etapa e os respectivos parâmetros de cada segmentação estão apresentados na Tabela 4.3.

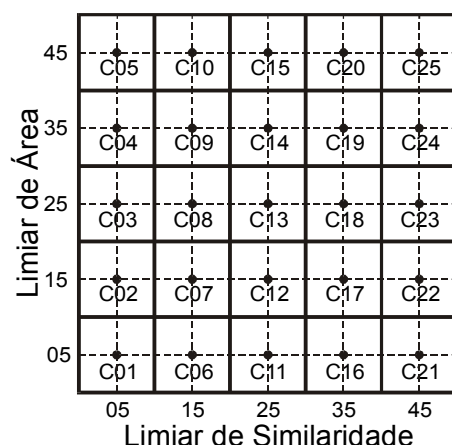


Fig. 4.7 - Conjunto inicial de limiares definidos pelo processo de otimização.

TABELA 4.3- VALORES DOS PARÂMETROS DAS IMAGENS SEGMENTADAS DEFINIDOS NA PRIMEIRA ETAPA DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

Elementos Centrais	Limiares		Comprimento Total de Linhas (Km)	Número de Polígonos	Variância da Área (Km <sup>4</sup> )	NQ <sub>S</sub> ≅ (R+FT) <sup>(1)</sup> (pixels)
	Similaridade	Área				
C01	5	5	341,016	892	0,006	6310
C02	5	15	269,208	444	0,011	5147
C03	5	25	228,371	284	0,016	4597
C04	5	35	208,853	222	0,016	4262
C05	5	45	193,448	181	0,025	4072
C06	15	5	162,588	260	0,065	4460
C07	15	15	139,991	139	0,117	3936
C08	15	25	130,861	107	0,145	3788
C09	15	35	124,014	87	0,173	3626
C10	15	45	120,142	77	0,190	3559
C11	25	5	95,820	77	1,150	3053
C12	25	15	90,294	54	1,602	2917
C13	25	25	89,314	51	1,689	2577
C14	25	35	85,451	41	2,082	2801
C15	25	45	84,337	38	2,269	2762
C16	35	5	72,077	36	4,011	2353
C17	35	15	70,223	30	4,775	2315
C18	35	25	69,060	26	5,467	2294
C19	35	35	67,027	22	6,419	2220
C20	35	45	66,316	21	6,726	2198
C21	45	5	56,933	20	8,568	1894
C22	45	15	56,933	17	9,972	1874
C23	45	25	55,368	16	10,557	1870
C24	45	35	53,627	13	12,771	1803
C25	45	45	52,687	12	13,714	1769
<b>Referência de Campo</b>			<b>104,342</b>	<b>82</b>	<b>0,158</b>	<b>3718</b>

<sup>(1)</sup> Número de quadrículas da imagem segmentada coincidentes com as quadrículas da imagem de referência acrescida da faixa de tolerância.

Após o cálculo dos parâmetros *comprimento total de linhas*, *número de polígonos*, *variância das áreas dos polígonos* e *faixa de coincidência* para cada segmentação, foi calculado o índice de avaliação da segmentação para as 25 células definidas na primeira etapa do processo de *otimização do espaço de combinações*. O resultado do processo de avaliação das segmentações através do índice IAVAS, aplicando a equação 3.4 está apresentado na Tabela 4.4.

TABELA 4.4 - AVALIAÇÃO DO PRIMEIRO CONJUNTO DE DADOS PARA A ÁREA 1

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Campo					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L <sup>(1)</sup> (km)	NP <sup>(1)</sup>	VA <sup>(1)</sup> (km <sup>4</sup> )	FC <sup>(1)</sup> (pixels)	C <sup>(1)</sup> (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	236,674	810	1525,507	2592	54,202	4,301	4,865	0,032	3,715	0,000	12,914
5	15	164,865	362	1473,610	1429	76,036	2,948	2,157	0,031	2,002	0,132	7,270
5	25	124,029	202	1417,208	879	85,840	2,178	1,191	0,030	1,192	0,191	4,781
5	35	104,511	140	1417,208	544	101,454	1,810	0,816	0,030	0,698	0,285	3,639
5	45	89,106	99	1332,019	354	118,708	1,519	0,568	0,028	0,418	0,390	2,923
15	5	58,246	178	925,800	742	90,274	0,937	1,046	0,018	0,990	0,218	3,209
15	15	35,649	57	415,018	218	116,217	0,511	0,314	0,007	0,218	0,375	1,425
15	25	26,519	25	127,583	70	133,454	0,339	0,121	0,000	0,000	0,479	0,939
<b>15</b>	<b>35</b>	<b>19,672</b>	<b>5</b>	<b>153,089</b>	<b>92</b>	<b>153,058</b>	<b>0,210</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,032</b>	<b>0,597</b>	<b>0,840</b>
15	45	15,800	5	318,272	159	163,724	0,137	0,000	0,004	0,131	0,662	0,934
25	5	8,522	5	9917,158	665	173,476	0,000	0,000	0,226	0,877	0,720	1,822
25	15	14,049	28	14434,668	801	201,399	0,104	0,139	0,330	1,077	0,889	2,539
25	25	15,028	31	15307,026	1141	207,299	0,123	0,157	0,350	1,578	0,925	3,132
25	35	18,891	41	19240,113	917	276,778	0,195	0,218	0,440	1,248	1,344	3,446
25	45	20,005	44	21113,101	956	288,541	0,216	0,236	0,483	1,305	1,415	3,656
35	5	32,266	46	38532,233	1365	291,443	0,448	0,248	0,885	1,908	1,433	4,921
35	15	34,119	52	46169,601	1403	311,254	0,483	0,284	1,061	1,964	1,553	5,344
35	25	35,282	56	53089,047	1424	337,149	0,504	0,308	1,220	1,995	1,709	5,737
35	35	37,315	60	62609,676	1498	413,120	0,543	0,332	1,440	2,104	2,168	6,586
35	45	38,026	61	65683,715	1520	438,264	0,556	0,338	1,510	2,136	2,320	6,861
45	5	47,410	62	84099,819	1824	468,792	0,733	0,344	1,935	2,584	2,504	8,100
45	15	47,410	65	98138,968	1844	502,140	0,733	0,363	2,258	2,613	2,706	8,673
45	25	48,975	66	103987,850	1848	517,140	0,763	0,369	2,393	2,619	2,796	8,940
45	35	50,716	69	126134,024	1915	549,431	0,795	0,387	2,903	2,718	2,991	9,794
45	45	51,655	70	135555,587	1949	558,262	0,813	0,393	3,120	2,768	3,045	10,139
<b>Mínimo</b>		8,522	5	127,583	70	54,202						0,840
<b>Desvio padrão</b>		53,042	165,471	43404,730	678,819	165,560						

<sup>(1)</sup> L = comprimento total de linhas; NP = número de polígonos; VA= variância das áreas dos polígonos; FC = faixa de coincidência; C = centro de massa mais próximo.



De acordo com a metodologia desenvolvida na presente pesquisa, o índice IAVAS indica como melhor resultado o par de limiares que fornecer o menor índice entre o conjunto de dados. Portanto, a Tabela 4.4 indica que os limiares 15 / 35 (similaridade / área), correspondente ao elemento central C09, produziram uma segmentação que mais se aproximou da imagem *referência de campo* na primeira etapa da otimização.

A próxima etapa no processo de *otimização do espaço de combinações* foi a repartição da célula C09 em quatro quadrantes (Figura 4.8). Para cada quadrante (Q1, Q2, Q3 e Q4) foram definidos os limiares e os respectivos parâmetros de discrepância conforme a Tabela 4.5.

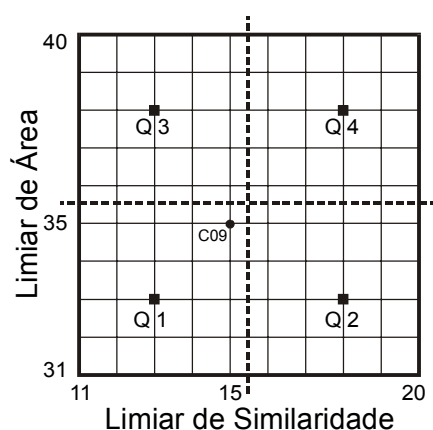


Fig. 4.8 - Divisão da célula C09 em 4 quadrantes.

TABELA 4.5 - VALORES DOS PARÂMETROS DAS IMAGENS SEGMENTADAS DEFINIDAS NA 2ª ETAPA DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

Quadrantes da célula C09	Limiares		Comprimento Total de Linhas (Km)	Número de Polígonos	Variância da Área (Km <sup>2</sup> )	NQ <sub>S</sub> ≅ (R+FT) (pixels)
	Similaridade	Área				
Q1	13	33	139,073	113	0,207	3813
Q2	18	33	134,275	98	0,192	3704
Q3	13	38	108,400	69	0,488	3346
Q4	18	38	106,997	64	0,526	3312
<b>Referência de Campo</b>			<b>104,342</b>	<b>82</b>	<b>0,158</b>	<b>3718</b>

Os quadrantes definidos na Tabela 4.5 foram adicionados aos 25 elementos centrais da Tabela 4.3 e efetuada novamente a avaliação da segmentação com o índice IAVAS (Tabela 4.6).

TABELA 4.6 - AVALIAÇÃO DO CONJUNTO DE DADOS DEFINIDOS NA 1ª E 2ª ETAPAS NO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO PARA A ÁREA 1

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Campo					Valores Normalizados					IAVAS
Similaridade	Área	L (km)	NP	VA (km <sup>4</sup> )	FC (pixels)	C (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	236,674	810	0,153	2592	54,202	4,579	5,155	0,033	3,647	0,000	13,414
5	15	164,865	362	0,147	1429	76,036	3,174	2,286	0,032	2,002	0,137	7,631
5	25	124,029	202	0,142	879	85,840	2,375	1,261	0,031	1,224	0,199	5,089
5	35	104,511	140	0,142	544	101,454	1,993	0,864	0,031	0,750	0,297	3,935
5	45	89,106	99	0,133	354	118,708	1,692	0,602	0,029	0,481	0,405	3,208
13	33	34,731	31	0,048	95	111,662	0,628	0,166	0,009	0,115	0,361	1,278
<b>13</b>	<b>38</b>	<b>29,933</b>	<b>16</b>	<b>0,034</b>	<b>14</b>	<b>119,021</b>	<b>0,534</b>	<b>0,070</b>	<b>0,005</b>	<b>0,000</b>	<b>0,407</b>	<b>1,016</b>
15	5	58,246	178	0,093	742	90,274	1,088	1,108	0,019	1,030	0,226	3,471
15	15	35,649	57	0,042	218	116,217	0,646	0,333	0,007	0,289	0,389	1,663
15	25	26,519	25	0,013	70	133,454	0,467	0,128	0,000	0,079	0,498	1,172
15	35	19,672	5	0,015	92	153,058	0,333	0,000	0,001	0,110	0,621	1,065
15	45	15,800	5	0,032	159	163,724	0,257	0,000	0,005	0,205	0,688	1,155
18	33	4,058	13	0,330	372	177,769	0,027	0,051	0,076	0,506	0,776	1,437
18	38	2,654	18	0,368	406	177,245	0,000	0,083	0,085	0,554	0,773	1,495
25	5	8,522	5	0,992	665	173,476	0,115	0,000	0,233	0,921	0,749	2,018
25	15	14,049	28	1,443	801	201,399	0,223	0,147	0,341	1,113	0,924	2,749
25	25	15,028	31	1,531	1141	207,299	0,242	0,166	0,362	1,594	0,961	3,326
25	35	18,891	41	1,924	917	276,778	0,318	0,231	0,456	1,277	1,397	3,679
25	45	20,005	44	2,111	956	288,541	0,340	0,250	0,500	1,332	1,471	3,893
35	5	32,266	46	3,853	1365	291,443	0,579	0,263	0,916	1,911	1,490	5,158
35	15	34,119	52	4,617	1403	311,254	0,616	0,301	1,098	1,965	1,614	5,593
35	25	35,282	56	5,309	1424	337,149	0,638	0,327	1,263	1,994	1,777	5,999
35	35	37,315	60	6,261	1498	413,120	0,678	0,352	1,490	2,099	2,253	6,873
35	45	38,026	61	6,568	1520	438,264	0,692	0,359	1,563	2,130	2,411	7,155
45	5	47,410	62	8,410	1824	468,792	0,876	0,365	2,002	2,560	2,603	8,406
45	15	47,410	65	9,814	1844	502,140	0,876	0,384	2,337	2,589	2,812	8,998
45	25	48,975	66	10,399	1848	517,140	0,906	0,391	2,476	2,594	2,907	9,274
45	35	50,716	69	12,613	1915	549,431	0,940	0,410	3,004	2,689	3,109	10,153
45	45	51,655	70	13,556	1949	558,262	0,959	0,416	3,229	2,737	3,165	10,506
<b>Mínimo</b>		2,654	5	0,013	14	54,202						1,016
<b>Desvio padrão</b>		51,107	156,166	4,194	706,958	159,273						

Após o processo de avaliação representado pela Tabela 4.6, ficou definido pelo IAVAS que os limiares 13 / 38 (similaridade / área) forneceram o melhor resultado até o momento. Desta forma, a terceira etapa do processo de *otimização do espaço de combinações* define que as próximas segmentações a serem efetuadas correspondem aos 25 pares de limiares contidos no quadrante Q3 (Figura 4.9). A Tabela 4.7 apresenta os parâmetros de discrepância calculados para as segmentações executadas nesta etapa.

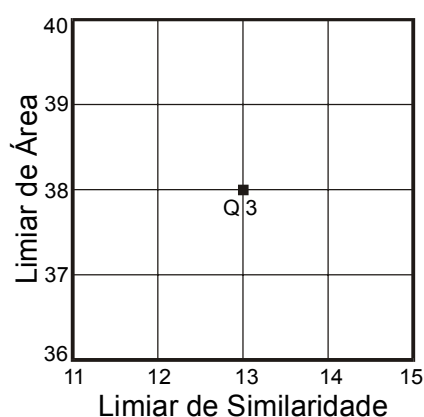


Fig. 4.9 - 25 combinações possíveis do quadrante Q3.

As segmentações definidas na Tabela 4.7 foram adicionadas aos dados anteriormente analisados e efetuada a última avaliação pelo índice IAVAS de acordo com o processo de *otimização do espaço de combinações* (Tabela 4.8).

TABELA 4.7 - VALORES DOS PARÂMETROS DAS IMAGENS SEGMENTADAS DEFINIDAS NA 3ª ETAPA DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

Combinação	Limiares		Comprimento Total de Linhas (Km)	Número de Polígonos	Variância da Área (Km <sup>4</sup> )	NQ <sub>S</sub> ≅ (R+FT) (pixels)
	Similaridade de	Área				
01	11	36	142,353	119	0,215	3775
02	11	37	141,901	118	0,214	3771
03	11	38	140,434	114	0,211	3741
04	11	39	140,434	114	0,211	3741
05	11	40	140,006	113	0,211	3724
06	12	36	136,427	107	0,202	3744
07	12	37	135,474	105	0,200	3732
08	12	38	135,020	104	0,199	3727
09	12	39	134,953	102	0,197	3722
10	12	40	134,415	101	0,197	3725
11	13	36	136,076	103	0,197	3740
12	13	37	135,123	101	0,194	3728
13	13	38	134,275	98	0,192	3704
14	13	39	134,275	98	0,192	3732
15	13	40	134,275	98	0,192	3732
16	14	36	132,822	96	0,180	3721
17	14	37	132,068	93	0,177	3744
18	14	38	131,614	92	0,188	3749
19	14	39	131,614	92	0,176	3749
20	14	40	131,077	91	0,174	3752
21	15	36	123,942	86	0,176	3811

(Continua)

TABELA 4.7 - (Conclusão)

22	15	37	123,488	85	0,177	3815
23	15	38	123,035	84	0,178	3820
24	15	39	123,035	84	0,178	3820
25	15	40	123,035	84	0,178	3820
<b>Referência de Campo</b>			<b>104,342</b>	<b>82</b>	<b>0,158</b>	<b>3718</b>

TABELA 4.8 - AVALIAÇÃO COM BASE NA REFERÊNCIA DE CAMPO DE TODO O CONJUNTO DE DADOS DEFINIDOS PELO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO PARA A ÁREA 1

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Campo					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L (km)	NP	VA (km <sup>4</sup> )	FC (pixels)	C (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	236,674	810	0,153	2592	54,202	5,975	6,674	0,041	3,646	0,000	16,335
5	15	164,865	362	0,147	1429	76,036	4,141	2,973	0,039	2,008	0,165	9,327
5	25	124,029	202	0,142	879	85,840	3,099	1,652	0,037	1,234	0,239	6,260
5	35	104,511	140	0,142	544	101,454	2,600	1,140	0,037	0,762	0,356	4,896
5	45	89,106	99	0,133	354	118,708	2,207	0,801	0,035	0,494	0,487	4,024
11	36	38,010	37	0,057	57	110,505	0,903	0,289	0,013	0,076	0,425	1,705
11	37	37,559	36	0,056	53	111,417	0,891	0,281	0,013	0,070	0,432	1,687
11	38	36,092	32	0,053	23	110,279	0,854	0,248	0,012	0,028	0,423	1,564
11	39	36,092	32	0,053	23	110,279	0,854	0,248	0,012	0,028	0,423	1,564
11	40	35,664	31	0,053	6	109,322	0,843	0,240	0,012	0,004	0,416	1,514
12	36	32,084	25	0,044	26	113,845	0,751	0,190	0,009	0,032	0,450	1,433
12	37	31,131	23	0,042	14	113,847	0,727	0,173	0,008	0,015	0,450	1,374
12	38	30,678	22	0,041	9	113,425	0,715	0,165	0,008	0,008	0,447	1,344
12	39	30,611	20	0,039	4	113,005	0,714	0,149	0,008	0,001	0,444	1,315
12	40	30,073	19	0,039	7	113,005	0,700	0,140	0,008	0,006	0,444	1,297
13	33	34,731	31	0,048	95	111,662	0,819	0,240	0,010	0,130	0,433	1,632
13	36	31,734	21	0,039	22	119,837	0,742	0,157	0,007	0,027	0,495	1,429
13	37	30,781	19	0,036	10	120,217	0,718	0,140	0,007	0,010	0,498	1,373
13	38	29,933	16	0,034	14	119,021	0,696	0,116	0,006	0,015	0,489	1,323
13	39	29,933	16	0,034	14	119,021	0,696	0,116	0,006	0,015	0,489	1,323
13	40	29,933	16	0,034	14	119,021	0,696	0,116	0,006	0,015	0,489	1,323
14	36	28,479	14	0,022	3	131,347	0,659	0,099	0,003	0,000	0,582	1,343
14	37	27,726	11	0,019	26	132,280	0,640	0,074	0,002	0,032	0,589	1,337
14	38	27,272	10	0,030	31	131,847	0,629	0,066	0,005	0,039	0,586	1,325
14	39	27,272	10	0,018	31	131,847	0,629	0,066	0,001	0,039	0,586	1,321
14	40	26,734	9	0,016	34	132,445	0,615	0,058	0,001	0,044	0,590	1,307
15	5	58,246	178	0,093	742	90,274	1,419	1,454	0,023	1,041	0,272	4,209
15	15	35,649	57	0,042	218	116,217	0,842	0,454	0,008	0,303	0,468	2,076
15	25	26,519	25	0,013	70	133,454	0,609	0,190	0,000	0,094	0,598	1,491
15	35	19,672	5	0,015	92	153,058	0,434	0,025	0,001	0,125	0,746	1,331
15	36	19,600	4	0,017	93	153,058	0,433	0,017	0,001	0,127	0,746	1,323
15	37	19,146	3	0,019	97	154,262	0,421	0,008	0,002	0,132	0,755	1,318
15	38	18,692	2	0,020	102	153,830	0,409	0,000	0,002	0,139	0,751	1,303
15	39	18,692	2	0,020	102	153,830	0,409	0,000	0,002	0,139	0,751	1,303

(Continua)

TABELA 4.8 - (Conclusão)

15	40	18,692	2	0,020	102	153,830	0,409	0,000	0,002	0,139	0,751	1,303
15	45	15,800	5	0,032	159	163,724	0,336	0,025	0,006	0,220	0,826	1,412
18	33	4,058	13	0,330	372	177,769	0,036	0,091	0,092	0,520	0,932	1,670
18	38	2,654	18	0,368	406	177,245	0,000	0,132	0,103	0,568	0,928	1,731
25	5	8,522	5	0,992	665	173,476	0,150	0,025	0,284	0,932	0,900	2,290
25	15	14,049	28	1,443	801	201,399	0,291	0,215	0,415	1,124	1,110	3,154
25	25	15,028	31	1,531	1141	207,299	0,316	0,240	0,440	1,603	1,155	3,753
25	35	18,891	41	1,924	917	276,778	0,415	0,322	0,554	1,287	1,679	4,256
25	45	20,005	44	2,111	956	288,541	0,443	0,347	0,608	1,342	1,767	4,508
35	5	32,266	46	3,853	1365	291,443	0,756	0,363	1,113	1,918	1,789	5,940
35	15	34,119	52	4,617	1403	311,254	0,803	0,413	1,334	1,972	1,939	6,461
35	25	35,282	56	5,309	1424	337,149	0,833	0,446	1,535	2,001	2,134	6,949
35	35	37,315	60	6,261	1498	413,120	0,885	0,479	1,811	2,106	2,707	7,987
35	45	38,026	61	6,568	1520	438,264	0,903	0,487	1,900	2,136	2,897	8,323
45	5	47,410	62	8,410	1824	468,792	1,143	0,496	2,433	2,565	3,127	9,763
45	15	47,410	65	9,814	1844	502,140	1,143	0,520	2,840	2,593	3,378	10,474
45	25	48,975	66	10,399	1848	517,140	1,183	0,529	3,010	2,598	3,492	10,811
45	35	50,716	69	12,613	1915	549,431	1,227	0,553	3,651	2,693	3,735	11,860
45	45	51,655	70	13,556	1949	558,262	1,251	0,562	3,924	2,741	3,802	12,279
<b>Mínimo</b>		2,654	2	0,013	3	54,202						1,297
<b>Desvio padrão</b>		39,168	121,072	3,451	710,041	132,585						

O índice para avaliação de segmentação (IAVAS), auxiliado pelas etapas do processo de otimização do espaço de combinações, indicou o resultado da segmentação por crescimento de regiões com limiares 12 / 40 (similaridade / área) como a segmentação mais eficiente na identificação dos alvos de acordo com a referência de campo.

A Figura 4.11 apresenta o resultado das feições extraídas pelo algoritmo crescimento de regiões, com os limiares 12 e 40 para similaridade e área respectivamente, sobre a área 1. Tal segmentação recebeu o nome de ImgSeg1240 e as combinações definidas em todo o processo de otimização do espaço de combinações é ilustrado na Figura 4.10. Nota-se que foram utilizadas apenas 53 combinações das 2500 possíveis entre os valores de similaridade e área para avaliar e indicar um resultado satisfatório para o tipo de aplicação definida.

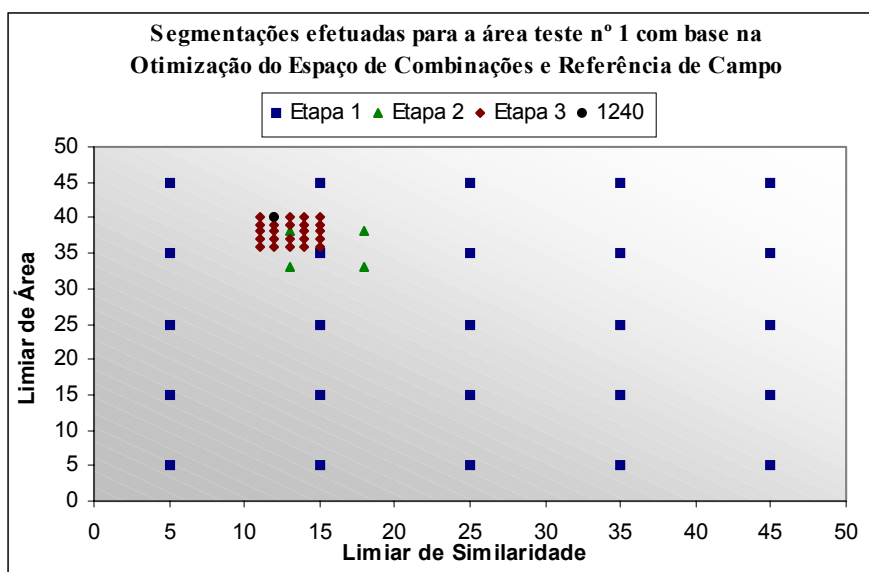


Fig. 4.10 - Pares de limiares definidos pelo método de avaliação das segmentações na área 1 através do índice IAVAS (imagem referência de campo) e do processo de otimização do espaço de combinações.

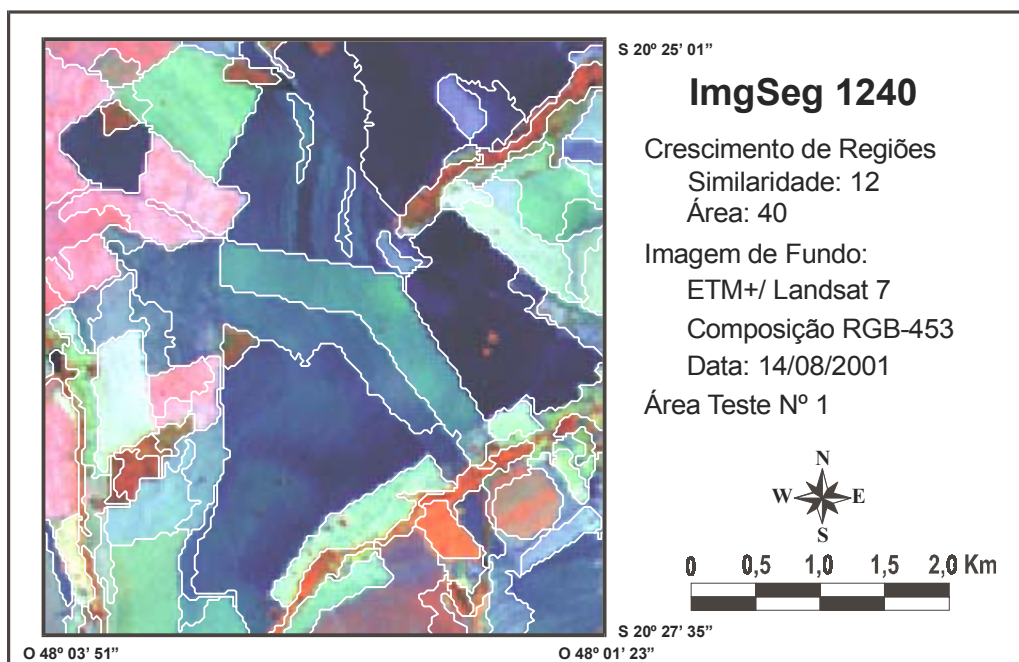


Fig. 4.11 - Imagem segmentada da área 1, com os limiares 12 / 40, e sobreposta à imagem ETM+.

### 4.3.2- Área Teste Nº 2

Os mesmos procedimentos executados na área 1 para determinar o par de limiares que originou a melhor segmentação dos alvos de interesse foram aplicados sobre a área 2.

A etapa inicial consistiu na segmentação dos 25 pares de limiares (correspondentes aos elementos centrais) definidos na primeira etapa do processo de otimização. Esses limiares corresponderam aos mesmos definidos para a área 1 (Figura 4.7), pois a repartição inicial do espaço de combinações é efetuada independentemente da área-teste e/ou imagem de referência aplicada no processo de avaliação.

Somente após a análise deste primeiro conjunto é que o índice IAVAS indicará qual a região a ser detalhada pela definição dos quadrantes e segmentações subseqüentes, de acordo com a imagem utilizada ou imagem de referência empregada para avaliação das segmentações.

A avaliação, através do índice IAVAS, das segmentações geradas pelas combinações determinadas na primeira etapa do processo de *otimização do espaço de combinações* apresentou como melhor resultado a combinação de limiares 15 e 25 para similaridade e área respectivamente (conforme a Figura 4.7). Diante disso, a célula com o elemento central C08 foi subdividida em quadrantes e efetuada novamente a avaliação das segmentações. Os limiares 15 / 25 (similaridade e área) continuaram fornecendo o melhor resultado, implicando nas segmentações das 25 combinações possíveis em torno do C08 como a terceira etapa do processo de otimização. Ao todo foram geradas 52 combinações entre os valores de similaridade e área para a conclusão do processo de *otimização do espaço de combinações* e avaliação, por meio do índice IAVA, da área 2.

Por fim, o procedimento de avaliação da segmentação, utilizando a *referência de campo*, indicou os pares de limiares 16 / 23 e 16 / 24 como os melhores resultados alcançados pelo algoritmo de segmentação por crescimento de regiões para a identificação dos alvos na área 2. A Figura 4.12 apresenta a distribuição das 52 combinações utilizadas. Os valores dos parâmetros de discrepância e respectivos índices

para cada combinação estão apresentados, em síntese, na Tabela 4.9. No apêndice A apresenta-se a Tabela 4.9 com todas as combinações.

TABELA 4.9 - AVALIAÇÃO COM BASE NA REFERÊNCIA DE CAMPO DE TODO O CONJUNTO DE DADOS DEFINIDOS PELO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO PARA A ÁREA 2

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Campo					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L (km)	NP	VA (km <sup>4</sup> )	FC (pixels)	C (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	185,852	694	0,052	2090	44,746	5,535	6,752	0,004	2,484	0,000	14,775
5	15	120,674	282	0,050	1074	63,084	3,483	2,738	0,004	1,262	0,084	7,571
5	25	88,112	152	0,049	629	80,506	2,458	1,471	0,003	0,726	0,165	4,824
5	35	70,849	93	0,047	373	97,902	1,915	0,896	0,003	0,419	0,245	3,478
5	45	56,828	60	0,046	212	109,861	1,473	0,575	0,003	0,225	0,300	2,576
13	23	31,201	28	0,030	125	91,450	0,666	0,263	0,002	0,120	0,215	1,267
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
14	27	24,475	10	0,022	25	102,806	0,455	0,088	0,001	0,000	0,267	0,811
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	26	18,091	1	0,017	96	102,887	0,254	0,000	0,000	0,085	0,268	0,607
15	27	17,873	2	0,017	101	105,500	0,247	0,010	0,000	0,091	0,280	0,628
15	35	15,968	7	0,016	134	112,226	0,187	0,058	0,000	0,131	0,311	0,687
15	45	13,578	15	0,013	193	128,637	0,112	0,136	0,000	0,202	0,386	0,836
16	23	17,232	4	0,015	86	100,802	0,227	0,029	0,000	0,073	0,258	0,588
16	24	17,232	4	0,015	86	100,802	0,227	0,029	0,000	0,073	0,258	0,588
16	25	17,130	5	0,014	90	103,646	0,223	0,039	0,000	0,078	0,271	0,612
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
18	28	10,139	24	0,034	281	133,508	0,003	0,224	0,002	0,308	0,409	0,946
25	5	10,034	43	0,404	784	212,865	0,000	0,409	0,038	0,913	0,774	2,134
25	15	13,732	59	0,580	884	248,570	0,116	0,565	0,055	1,033	0,939	2,708
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
35	45	53,401	82	9,543	1959	541,583	1,365	0,789	0,917	2,326	2,288	7,686
45	5	65,269	84	17,204	2371	656,014	1,739	0,809	1,655	2,822	2,815	9,839
45	15	66,152	88	28,678	2392	762,661	1,767	0,848	2,759	2,847	3,307	11,527
45	25	66,567	89	34,444	2406	781,952	1,780	0,857	3,314	2,864	3,396	12,210
45	35	67,431	90	43,060	2429	803,637	1,807	0,867	4,143	2,891	3,495	13,204
45	45	67,431	90	43,060	2429	803,637	1,807	0,867	4,143	2,891	3,495	13,204
<b>Mínimo</b>		10,034	1	0,013	25	44,746						0,588
<b>Desvio padrão</b>		31,762	102,631	10,390	831,423	217,112						



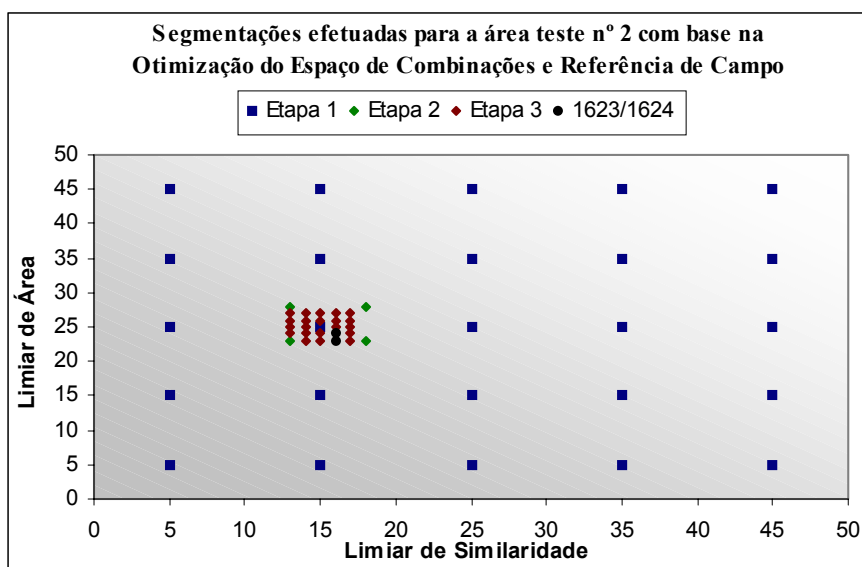


Fig. 4.12 - Pares de limiares definidos pelo método de avaliação das segmentações na área 2 por meio do índice IAVAS (imagem referência de campo) e do processo de otimização do espaço de combinações.

A Figura 4.13 apresenta os segmentos extraídos pelo algoritmo de segmentação por crescimento de regiões utilizando os valores 16 e 23 para os limiares de similaridade e área, respectivamente. Esses limiares formam a *ImgSeg1623*, que, juntamente com a *ImgSeg1624*, foram definidos como os melhores resultados alcançados pelo algoritmo, conforme a Tabela 4.9.

É importante resaltar que o IAVAS, com base na imagem referência de campo, apresentou dois pares de limiares distintos com o mesmo resultado no processo de extração das feições. Esta igualdade é perfeitamente possível de acontecer, pois o algoritmo empregado nesta pesquisa utiliza dois limiares para os critérios de decisão e extração dos segmentos sobre a imagem.

Em alguns casos, pequenas variações entre os limiares não alteram os valores dos parâmetros de discrepância, resultando em índices iguais. Em outras situações, diferentes combinações entre limiares fornecem resultados distintos para cada parâmetro, porém, a soma dos mesmos é idêntica. A influência de cada limiar sobre o resultado do índice IAVAS está descrita em um tópico adiante.

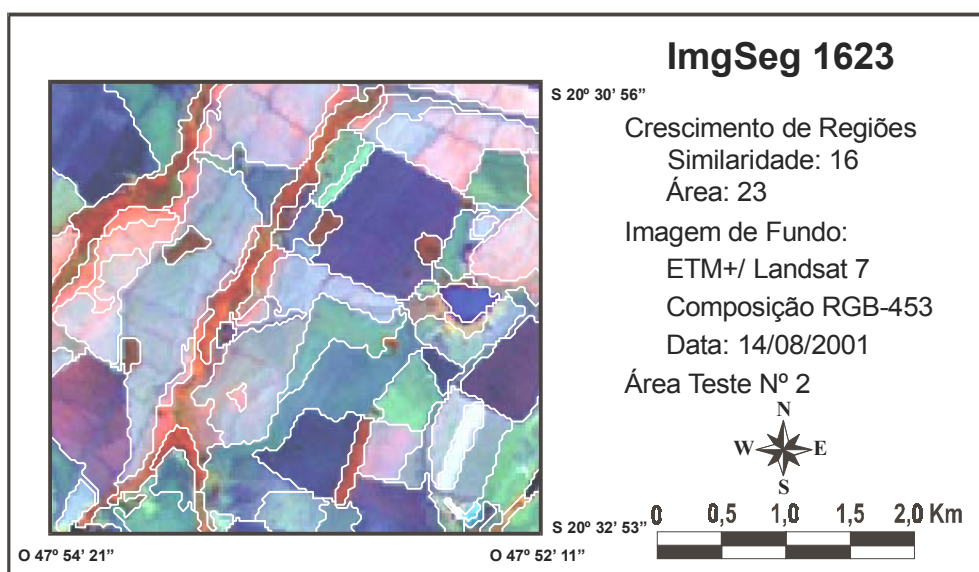


Fig. 4.13 - Imagem segmentada da área 2, com os limiares 16 / 23, e sobreposta à imagem ETM+.

#### 4.3.3- ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS SOBRE AS ÁREAS TESTES COM BASE NA REFERÊNCIA DE CAMPO

O objetivo das áreas testes é destacar, em regiões menores, os principais usos dos solos presentes na área de estudo que atendam ao *tipo de aplicação* definido no trabalho, proporcionando, deste modo, menor custo computacional e segmentações em menores intervalos de tempo. Porém, após a avaliação de cada área, é necessário definir um par de limiares cuja segmentação correspondente seja satisfatória para ambas as áreas, para que o mesmo seja aplicado em toda a área de estudo.

Foram aplicados os critérios de decisão (item 3.3.11) para a análise dos resultados obtidos nas áreas 1 e 2, e conseqüentemente, determinação de um único par de limiares entre os melhores resultados de cada área. As análises para cada critério estão descritas a seguir:

*Critério 1* - As análises efetuadas anteriormente pelo índice IAVAS, com base na imagem referência de campo, mostraram como melhor resultado para a

área 1 a segmentação ImgSeg1240, e para a área 2 as segmentações ImgSeg1623 e ImgSeg1624;

*Critério 2* - Os limiares definidos para cada área não foram iguais; logo, houve a necessidade de avaliar os limiares entre as áreas;

*Critério 3* - O objetivo aqui foi de verificar se a melhor combinação de limiares da área 1 também possui o melhor índice IAVAS entre as segmentações efetuadas na área 2 e vice-versa. Para isto, os limiares da ImgSeg1240 foram aplicados sobre a área 2 e os limiares das ImgSeg1623 e ImgSeg1624 sobre a área 1;

*Critério 4* - Após a segmentação da ImgSeg1240 sobre a área 2, os valores de seus parâmetros de discrepância foram adicionados aos parâmetros das 52 segmentações efetuadas anteriormente (Tabela 4.9) e calculado novamente o índice IAVAS para o novo conjunto de dados (53 segmentações). Os resultados desta análise estão descritos de forma simplificada na Tabela 4.10 (o Apêndice B apresenta a Tabela 4.10 com todas as 53 segmentações);

Os parâmetros de discrepância calculados das ImgSeg1623 e ImgSeg1624 foram acrescentados ao conjunto de 53 segmentações efetuadas sobre a área 1 (Tabela 4.8). Após a adição das duas segmentações, o índice IAVAS foi recalculado para o novo conjunto de dados. O produto desta operação está descrito de forma reduzida na Tabela 4.11, a fim de demonstrar o comportamento da avaliação das segmentações efetuadas sobre a área 1 (o Apêndice C apresenta a Tabela 4.11 preenchida com todas as segmentações);

A Tabela 4.11 responde de forma positiva à questão *b* estipulada para o critério IV no item 3.3.11, pois os limiares 16 para similaridade e 24 para área (definido anteriormente como o melhor resultado na área 2) forneceram também o melhor índice IAVAS sobre a área 1. Logo, este par

de limiares foi o indicado para ser aplicado em toda a área de estudo através da avaliação das segmentações efetuadas em ambas as áreas testes com base na imagem referência de campo.

TABELA 4.10 - IMGSEG1240 APLICADA SOBRE A ÁREA 2

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Campo					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L (km)	NP	VA (km <sup>4</sup> )	FC (pixels)	C (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	185,852	694	0,052	2090	44,746	5,586	6,804	0,004	2,512	0,000	14,906
5	15	120,674	282	0,050	1074	63,084	3,515	2,759	0,004	1,286	0,085	7,648
5	25	88,112	152	0,049	629	80,506	2,481	1,483	0,004	0,748	0,166	4,881
5	35	70,849	93	0,047	373	97,902	1,932	0,903	0,003	0,439	0,247	3,525
5	45	56,828	60	0,046	212	109,861	1,487	0,579	0,003	0,245	0,302	2,617
12	40	27,542	9	0,027	9	122,181	0,556	0,079	0,001	0,000	0,359	0,996
13	23	31,201	28	0,030	125	91,450	0,673	0,265	0,002	0,140	0,217	1,296
13	24	30,811	27	0,030	119	91,492	0,660	0,255	0,002	0,133	0,217	1,267
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	26	18,091	1	0,017	96	102,887	0,256	0,000	0,000	0,105	0,270	0,631
15	27	17,873	2	0,017	101	105,500	0,249	0,010	0,000	0,111	0,282	0,652
15	35	15,968	7	0,016	134	112,226	0,189	0,059	0,000	0,151	0,313	0,712
15	45	13,578	15	0,013	193	128,637	0,113	0,137	0,000	0,222	0,389	0,862
16	23	17,232	4	0,015	86	100,802	0,229	0,029	0,000	0,093	0,260	0,612
16	24	17,232	4	0,015	86	100,802	0,229	0,029	0,000	0,093	0,260	0,612
16	25	17,130	5	0,014	90	103,646	0,225	0,039	0,000	0,098	0,273	0,636
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	5	10,034	43	0,404	784	212,865	0,000	0,412	0,038	0,936	0,781	2,166
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
35	45	53,401	82	9,543	1959	541,583	1,378	0,795	0,925	2,354	2,307	7,759
45	5	65,269	84	17,204	2371	656,014	1,755	0,815	1,668	2,851	2,838	9,927
45	15	66,152	88	28,678	2392	762,661	1,783	0,854	2,782	2,877	3,333	11,629
45	25	66,567	89	34,444	2406	781,952	1,796	0,864	3,341	2,894	3,423	12,318
45	35	67,431	90	43,060	2429	803,637	1,824	0,874	4,177	2,921	3,523	13,319
45	45	67,431	90	43,060	2429	803,637	1,824	0,874	4,177	2,921	3,523	13,319
<b>Mínimo</b>		10,034	1	0,013	9	44,746						0,612
<b>Desvio padrão</b>		31,476	101,851	10,305	828,365	215,399						

TABELA 4.11 - IMGSEG1623 E IMGSEG1624 APLICADAS SOBRE A ÁREA Nº 1

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Campo					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L (km)	NP	VA (km <sup>4</sup> )	FC (pixels)	C (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	236,674	810	0,153	2592	54,202	6,059	6,790	0,041	3,678	0,000	16,567
5	15	164,865	362	0,147	1429	76,036	4,200	3,025	0,040	2,026	0,167	9,457
5	25	124,029	202	0,142	879	85,840	3,142	1,681	0,038	1,244	0,242	6,348
5	35	104,511	140	0,142	544	101,454	2,637	1,160	0,038	0,769	0,362	4,965
5	45	89,106	99	0,133	354	118,708	2,238	0,815	0,035	0,499	0,494	4,081
11	36	38,010	37	0,057	57	110,505	0,915	0,294	0,013	0,077	0,431	1,730
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12	40	30,073	19	0,039	7	113,005	0,710	0,143	0,008	0,006	0,450	1,316
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
14	36	28,479	14	0,022	3	131,347	0,669	0,101	0,003	0,000	0,591	1,363
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	25	26,519	25	0,013	70	133,454	0,618	0,193	0,000	0,095	0,607	1,513
15	35	19,672	5	0,015	92	153,058	0,441	0,025	0,001	0,126	0,757	1,350
15	36	19,600	4	0,017	93	153,058	0,439	0,017	0,001	0,128	0,757	1,342
15	37	19,146	3	0,019	97	154,262	0,427	0,008	0,002	0,134	0,766	1,337
15	38	18,692	2	0,020	102	153,830	0,415	0,000	0,002	0,141	0,763	1,321
15	39	18,692	2	0,020	102	153,830	0,415	0,000	0,002	0,141	0,763	1,321
15	40	18,692	2	0,020	102	153,830	0,415	0,000	0,002	0,141	0,763	1,321
15	45	15,800	5	0,032	159	163,724	0,340	0,025	0,006	0,222	0,839	1,431
16	23	21,105	25	0,101	18	132,401	0,478	0,193	0,026	0,021	0,599	1,317
16	24	19,288	21	0,111	52	135,394	0,431	0,160	0,029	0,070	0,622	1,311
18	33	4,058	13	0,330	372	177,769	0,036	0,092	0,093	0,524	0,946	1,693
18	38	2,654	18	0,368	406	177,245	0,000	0,134	0,105	0,573	0,942	1,754
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
35	45	38,026	61	6,568	1520	438,264	0,916	0,496	1,928	2,155	2,941	8,435
45	5	47,410	62	8,410	1824	468,792	1,159	0,504	2,469	2,587	3,175	9,894
45	15	47,410	65	9,814	1844	502,140	1,159	0,529	2,882	2,615	3,430	10,616
45	25	48,975	66	10,399	1848	517,140	1,199	0,538	3,054	2,621	3,545	10,957
45	35	50,716	69	12,613	1915	549,431	1,244	0,563	3,706	2,716	3,792	12,021
45	45	51,655	70	13,556	1949	558,262	1,269	0,571	3,983	2,764	3,860	12,447
<b>Mínimo</b>		2,654	2	0,013	3	54,202						1,311
<b>Desvio padrão</b>		38,625	119,005	3,400	703,930	130,588						

#### **4.4- ÍNDICE IAVAS COM BASE NA REFERÊNCIA DE TELA**

Os mesmos procedimentos de avaliação efetuados sobre as áreas 1 e 2, utilizando como base a imagem referência de campo, foram aplicados em ambas as áreas com a imagem referência de tela. A seguir, estão apresentados os resultados obtidos durante a segmentação e avaliação de cada área conforme a metodologia de *otimização do espaço de combinações* entre os limiares de similaridade e área.

##### **4.4.1- Área Teste Nº 1**

A melhor segmentação para a área 1 utilizando como base a imagem referência de tela foi obtida após a seguinte seqüência: a) definição dos 25 pares de limiares para a primeira análise; b) determinação dos limiares de cada quadrante; e c) definição das 25 segmentações ao redor do melhor índice obtido na fase anterior para a avaliação definitiva de todo o conjunto de dados através do índice IAVAS. A Tabela 4.12 apresenta uma parte dos resultados obtidos pelo processo de avaliação das segmentações, em relação à *referência de tela*, sobre a área 1 (o Apêndice D apresenta a Tabela 4.12 com todas as segmentações).

A Figura 4.14 apresenta todas as combinações entre os limiares de similaridade e área, definidos pelo processo de *otimização do espaço de combinações* em parceria com o índice IAVAS, utilizados para estabelecer a melhor segmentação referente à referência de tela sobre a área 1.

TABELA 4.12 - AVALIAÇÃO COM BASE NA REFERÊNCIA DE TELA DE TODO O CONJUNTO DE DADOS DEFINIDOS PELO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO PARA A ÁREA 1

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Tela					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L (km)	NP	VA (km <sup>4</sup> )	FC (pixels)	C (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	247,942	825	0,403	2539	40,455	5,625	6,493	0,120	4,180	0,000	16,418
5	15	176,133	377	0,397	1517	62,763	3,978	2,963	0,118	2,470	0,164	9,692
5	25	135,297	217	0,392	951	77,487	3,041	1,702	0,116	1,523	0,272	6,654
5	35	115,779	155	0,392	630	97,162	2,593	1,213	0,116	0,986	0,416	5,325
5	45	100,374	114	0,383	468	122,972	2,240	0,890	0,114	0,714	0,605	4,564
13	43	39,255	26	0,279	149	137,084	0,838	0,197	0,083	0,181	0,709	2,007
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	47	26,574	9	0,217	55	150,631	0,547	0,063	0,064	0,023	0,808	1,505
16	43	19,060	2	0,022	41	146,997	0,374	0,008	0,006	0,000	0,782	1,169
16	44	18,688	1	0,017	41	146,997	0,366	0,000	0,004	0,000	0,782	1,152
16	45	18,688	1	0,017	41	146,997	0,366	0,000	0,004	0,000	0,782	1,152
16	46	17,278	1	0,003	71	156,462	0,333	0,000	0,000	0,050	0,851	1,235
16	47	17,278	1	0,003	71	156,462	0,333	0,000	0,000	0,050	0,851	1,235
17	43	14,612	2	0,106	148	158,542	0,272	0,008	0,031	0,179	0,866	1,356
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	5	2,746	10	0,742	402	135,524	0,000	0,071	0,221	0,604	0,697	1,594
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
35	45	26,758	46	6,318	1218	434,602	0,551	0,355	1,893	1,969	2,892	7,659
45	5	36,142	47	8,160	1537	494,246	0,766	0,362	2,444	2,503	3,329	9,405
45	15	36,142	50	9,564	1557	533,202	0,766	0,386	2,865	2,537	3,615	10,169
45	25	37,707	51	10,149	1558	544,602	0,802	0,394	3,040	2,538	3,698	10,473
45	35	39,447	54	12,363	1625	583,033	0,842	0,418	3,704	2,650	3,980	11,595
45	45	40,387	55	13,305	1659	590,428	0,864	0,425	3,987	2,707	4,035	12,018
<b>Mínimo</b>		2,746	1	0,003	41	40,455						1,152
<b>Desvio padrão</b>		43,587	126,911	3,337	597,646	136,311						

Ao fim de todo o processo de avaliação das imagens segmentadas foram obtidos como os melhores pares para a extração dos segmentos através do algoritmo de segmentação por crescimento de regiões as ImgSeg1644 e ImgSeg1645, conforme apresentado na Tabela 4.12.

A Figura 4.15 apresenta os segmentos extraídos pelo algoritmo de segmentação por crescimento de regiões utilizando o limiar 16 para similaridade e 45 para o limiar de área.

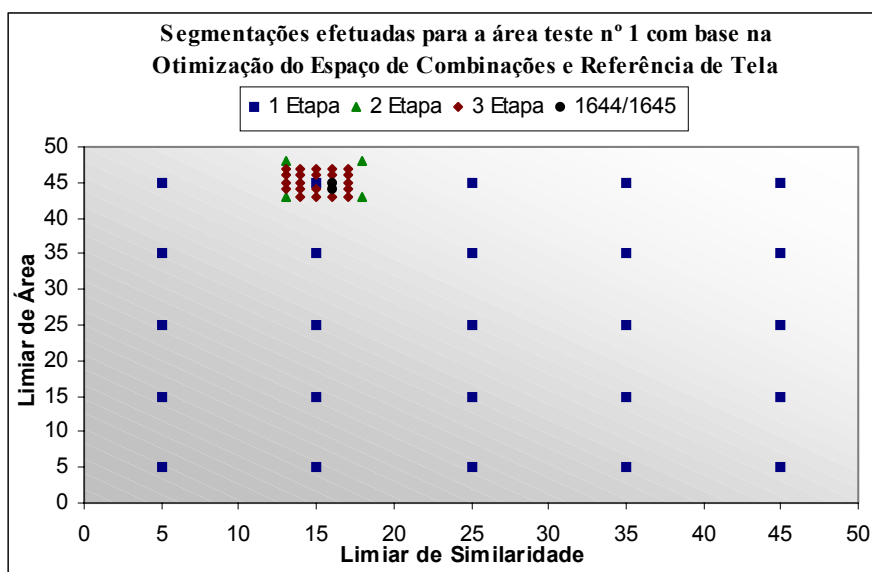


Fig. 4.14 - Pares de limiares definidos pelo método de avaliação das segmentações na área 1 através do índice IAVAS (imagem referência de tela) e do processo de otimização do espaço de combinações.

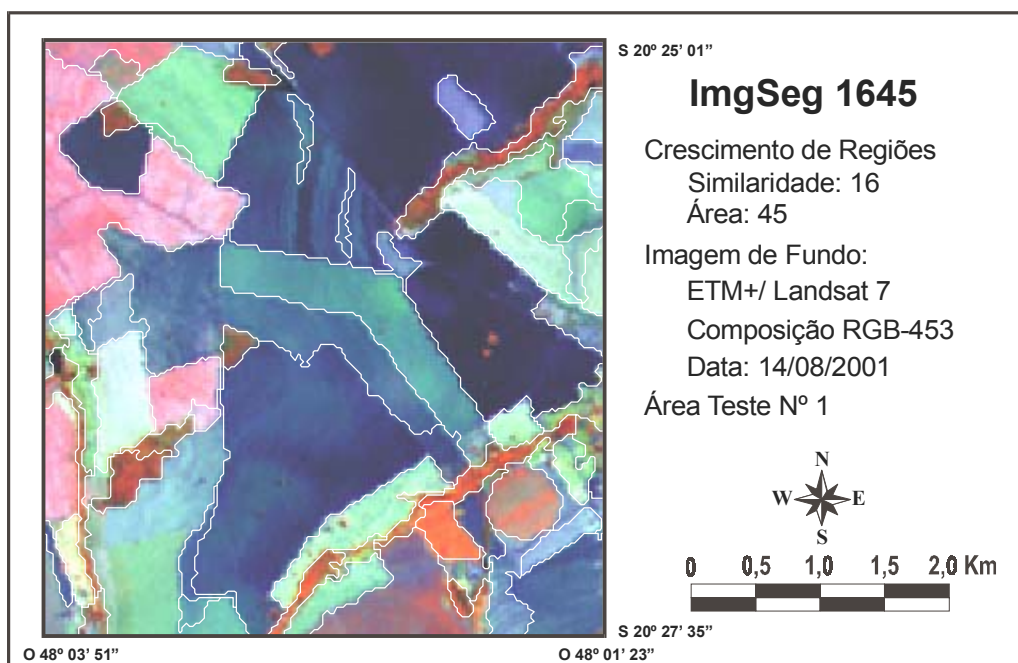


Fig. 4.15 - Imagem segmentada da área 1, com os limiares 16 / 45, e sobreposta à imagem ETM+.



#### 4.4.2- Área Teste N° 2

Dando continuidade à definição do melhor par de limiares sobre cada área teste, a Figura 4.16 apresenta o conjunto de combinações definidas pelo processo de otimização sobre a área 2. O resultado da avaliação de algumas segmentações originadas deste conjunto está exibido na Tabela 4.13 (o Apêndice E apresenta a Tabela 4.13 com todas as segmentações definidas para a avaliação da área 2 utilizando a referência de tela).

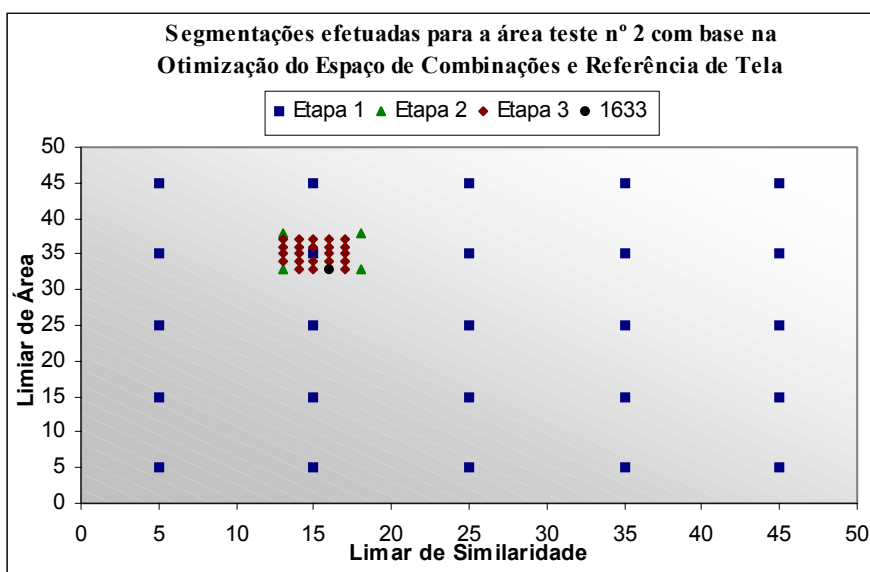


Fig. 4.16 - Pares de limiares definidos pelo método de avaliação das segmentações na área 2 através do índice IAVAS (imagem referência de tela) e do processo de otimização do espaço de combinações.

Segundo a Tabela 4.13, o índice para avaliação da segmentação (IAVAS) sugere os limiares 16 / 33 (similaridade / área) como os melhores resultados alcançados pelo processo de extração automática das feições de interesse sobre a área 2, conforme a referência de tela. A Figura 4.17 apresenta os segmentos da ImgSeg1633 identificados pelo algoritmo crescimento por regiões.

TABELA 4.13 - AVALIAÇÃO COM BASE NA REFERÊNCIA DE TELA DE TODO O CONJUNTO DE DADOS DEFINIDOS PELO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO PARA A ÁREA 2

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Tela					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L (km)	NP	VA (km <sup>4</sup> )	FC (pixels)	C (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	191,627	711	0,081	1985	42,815	5,877	6,714	0,008	2,604	0,000	15,202
5	15	126,448	299	0,079	1025	59,761	3,832	2,818	0,007	1,343	0,077	8,078
5	25	93,887	169	0,078	621	77,217	2,811	1,589	0,007	0,813	0,156	5,376
5	35	76,624	110	0,076	377	93,975	2,270	1,031	0,007	0,492	0,232	4,032
5	45	62,603	77	0,075	244	106,621	1,830	0,719	0,007	0,318	0,290	3,163
13	33	32,424	31	0,056	137	92,348	0,883	0,284	0,005	0,177	0,225	1,575
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	33	22,201	12	0,045	2	94,738	0,563	0,104	0,004	0,000	0,236	0,907
15	34	21,840	11	0,045	12	96,686	0,551	0,095	0,004	0,013	0,245	0,908
15	35	21,743	10	0,044	15	101,565	0,548	0,085	0,004	0,017	0,267	0,922
15	36	20,615	6	0,043	59	113,623	0,513	0,047	0,004	0,075	0,322	0,961
15	37	20,615	6	0,043	59	113,623	0,513	0,047	0,004	0,075	0,322	0,961
15	45	19,353	2	0,042	75	115,918	0,473	0,009	0,004	0,096	0,332	0,915
16	33	20,260	5	0,041	22	96,729	0,502	0,038	0,004	0,026	0,245	0,815
16	34	19,899	4	0,040	36	98,677	0,491	0,028	0,004	0,045	0,254	0,821
16	35	19,817	3	0,040	39	103,556	0,488	0,019	0,004	0,049	0,276	0,835
16	36	19,171	1	0,039	60	113,032	0,468	0,000	0,004	0,076	0,319	0,866
16	37	19,171	1	0,039	60	113,032	0,468	0,000	0,004	0,076	0,319	0,866
17	33	16,765	4	0,003	112	110,649	0,392	0,028	0,000	0,144	0,308	0,873
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	5	4,259	26	0,375	598	192,820	0,000	0,236	0,036	0,783	0,682	1,737
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
35	45	47,626	65	9,514	1751	537,054	1,360	0,605	0,917	2,296	2,246	7,424
45	5	59,494	67	17,175	2165	681,653	1,732	0,624	1,655	2,840	2,903	9,754
45	15	60,377	71	28,649	2186	771,252	1,760	0,662	2,761	2,867	3,310	11,360
45	25	60,792	72	34,416	2200	794,801	1,773	0,671	3,316	2,886	3,417	12,064
45	35	61,656	73	43,031	2223	814,519	1,800	0,681	4,146	2,916	3,507	13,050
45	45	61,656	73	43,031	2223	814,519	1,800	0,681	4,146	2,916	3,507	13,050
<b>Mínimo</b>		4,259	1	0,003	2	42,815						0,815
<b>Desvio padrão</b>		31,884	105,751	10,377	761,652	220,053						

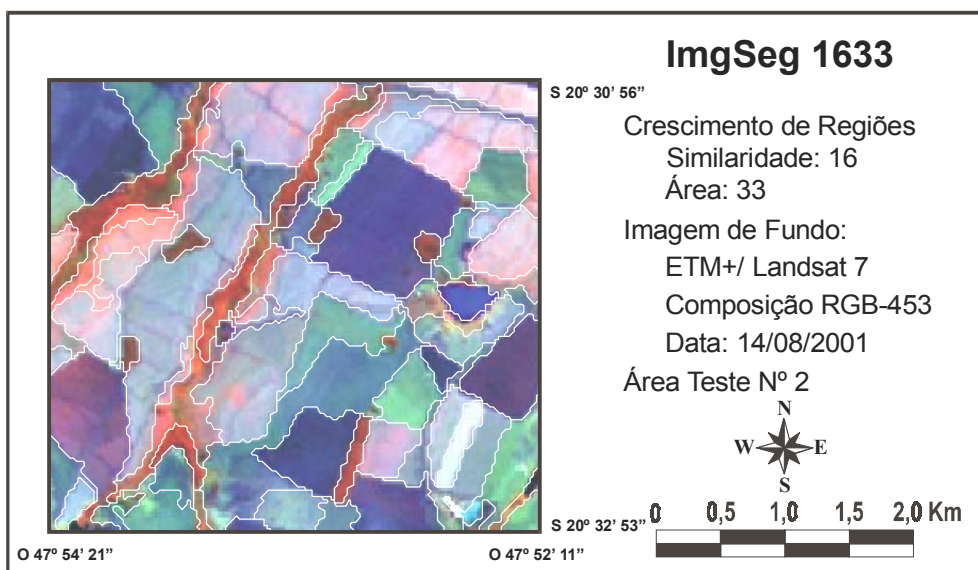


Fig. 4.17 - Imagem segmentada da área 2, com os limiares 16 / 33, e sobreposta à imagem ETM+.

#### 4.4.3- ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS SOBRE AS ÁREAS TESTES COM BASE NA REFERÊNCIA DE TELA

Após a definição dos pares de limiares que produziram melhores resultados sobre as áreas 1 e 2, com base na imagem referência de tela, o próximo passo foi determinar somente um par de limiar para toda a área de estudo. Para isto, foram aplicados os critérios de decisão descritos no item 3.3.11 :

*Critério 1* - As análises efetuadas anteriormente pelo índice IAVAS, com base na imagem referência de tela, determinaram como melhor resultado para a área 1 as segmentações ImgSeg1644 e ImgSeg1645, e para a área 2 as segmentações ImgSeg1633;

*Critério 2* - Os limiares definidos para cada área não foram iguais; logo, houve a necessidade de avaliar os limiares entre as áreas;

*Critério 3* - O objetivo aqui foi de verificar se a melhor combinação de limiares da área 1 também possuía o melhor índice IAVAS entre as segmentações efetuadas na área 2 e vice-versa. Para isso, os limiares da ImgSeg1644 e da ImgSeg1645 foram aplicados sobre a área 2 e os limiares das ImgSeg1633 sobre a área 1;

*Critério 4* - Os resultados das análises definidas no critério anterior estão descritos de forma simplificada nas Tabelas 4.14 e 4.15 (o Apêndice F apresenta todas as segmentações para as Tabelas 4.14 e 4.15);

As Tabelas 4.14 e 4.15 mostraram que os limiares definidos no critério I mantiveram-se superiores na avaliação, pelo índice IAVAS, mesmo após a aplicação dos limiares determinados pelo critério III. Desta forma, foi necessário calcular as diferenças ( $\Delta$ ) entre os índices:

a) melhor par de limiares (16/44 ou 16/45) da área 1 aplicados sobre a área 2 (observar Tabela 4.14)

$$\Delta_{1/2} = 0,895 - 0,826 \quad \Rightarrow \quad \Delta_{1/2} = 0,069$$

b) melhor par de limiares (16/33) da área 2 aplicados sobre a área 1 (observar Tabela 4.15)

$$\Delta_{2/1} = 1,281 - 1,160 \quad \Rightarrow \quad \Delta_{2/1} = 0,121$$

Pelos valores de  $\Delta_{1/2}$  e  $\Delta_{2/1}$  conclui-se que os limiares da imagem ImgSeg1644 e ImgSeg1645 foram mais próximos da segmentação considerada ótima entre todo o conjunto de dados sobre a área 2. Logo, o limiar de similaridade 16 e os limiares de área 44 ou 45 foram definidos como os pares representativos de toda a área de estudo, pois os mesmos produziram os melhores resultados na área 1 (Tabela 4.12) e distanciaram-se pouco em relação à melhor segmentação da área 2 (menor  $\Delta$ ).

TABELA 4.14 – IMGSEG1644 E IMGSEG1645 APLICADOS SOBRE A ÁREA 2

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Tela					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L (km)	NP	VA (km <sup>4</sup> )	FC (pixels)	C (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	191,627	711	0,081	1985	42,815	5,952	6,814	0,008	2,632	0,000	15,406
5	15	126,448	299	0,079	1025	59,761	3,882	2,860	0,008	1,358	0,078	8,185
5	25	93,887	169	0,078	621	77,217	2,847	1,612	0,007	0,821	0,159	5,447
5	35	76,624	110	0,076	377	93,975	2,299	1,046	0,007	0,498	0,236	4,086
5	45	62,603	77	0,075	244	106,621	1,853	0,729	0,007	0,321	0,294	3,206
13	33	32,424	31	0,056	137	92,348	0,895	0,288	0,005	0,179	0,229	1,596
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	33	22,201	12	0,045	2	94,738	0,570	0,106	0,004	0,000	0,240	0,919
15	34	21,840	11	0,045	12	96,686	0,559	0,096	0,004	0,013	0,249	0,921
15	35	21,743	10	0,044	15	101,565	0,555	0,086	0,004	0,017	0,271	0,934
15	36	20,615	6	0,043	59	113,623	0,520	0,048	0,004	0,076	0,327	0,974
15	37	20,615	6	0,043	59	113,623	0,520	0,048	0,004	0,076	0,327	0,974
15	45	19,353	2	0,042	75	115,918	0,480	0,010	0,004	0,097	0,337	0,927
16	33	20,260	5	0,041	22	96,729	0,508	0,038	0,004	0,027	0,249	0,826
16	34	19,899	4	0,040	36	98,677	0,497	0,029	0,004	0,045	0,258	0,832
16	35	19,817	3	0,040	39	103,556	0,494	0,019	0,004	0,049	0,280	0,847
16	36	19,171	1	0,039	60	113,032	0,474	0,000	0,004	0,077	0,324	0,878
16	37	19,171	1	0,039	60	113,032	0,474	0,000	0,004	0,077	0,324	0,878
16	44	17,973	3	0,038	79	115,241	0,436	0,019	0,003	0,102	0,334	0,895
16	45	17,973	3	0,038	79	115,241	0,436	0,019	0,003	0,102	0,334	0,895
17	33	16,765	4	0,003	112	110,649	0,397	0,029	0,000	0,146	0,313	0,885
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	5	4,259	26	0,375	598	192,820	0,000	0,240	0,037	0,791	0,692	1,760
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
35	45	47,626	65	9,514	1751	537,054	1,378	0,614	0,932	2,321	2,281	7,526
45	5	59,494	67	17,175	2165	681,653	1,755	0,633	1,682	2,871	2,948	9,889
45	15	60,377	71	28,649	2186	771,252	1,783	0,672	2,806	2,898	3,362	11,521
45	25	60,792	72	34,416	2200	794,801	1,796	0,681	3,371	2,917	3,470	12,236
45	35	61,656	73	43,031	2223	814,519	1,823	0,691	4,215	2,948	3,561	13,239
45	45	61,656	73	43,031	2223	814,519	1,823	0,691	4,215	2,948	3,561	13,239
<b>Mínimo</b>		4,259	1	0,003	2	42,815						0,826
<b>Desvio padrão</b>		31,478	104,191	10,208	753,518	216,680						

TABELA 4.15 – IMGSEG1633 APLICADA SOBRE A ÁREA 1

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Tela					Valores Normalizados					IAVAS
Similaridade	Área	L (km)	NP	VA (km <sup>4</sup> )	FC (pixels)	C (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	247,942	825	0,403	2539	40,455	5,674	6,550	0,121	4,194	0,000	16,538
5	15	176,133	377	0,397	1517	62,763	4,012	2,989	0,119	2,478	0,165	9,763
5	25	135,297	217	0,392	951	77,487	3,067	1,717	0,117	1,528	0,274	6,703
5	35	115,779	155	0,392	630	97,162	2,615	1,224	0,117	0,989	0,419	5,365
5	45	100,374	114	0,383	468	122,972	2,259	0,898	0,115	0,717	0,610	4,598
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16	33	23,484	16	0,079	48	128,076	0,480	0,119	0,023	0,012	0,647	1,281
16	43	19,060	2	0,022	41	146,997	0,377	0,008	0,006	0,000	0,787	1,178
16	44	18,688	1	0,017	41	146,997	0,369	0,000	0,004	0,000	0,787	1,160
16	45	18,688	1	0,017	41	146,997	0,369	0,000	0,004	0,000	0,787	1,160
16	46	17,278	1	0,003	71	156,462	0,336	0,000	0,000	0,050	0,857	1,244
16	47	17,278	1	0,003	71	156,462	0,336	0,000	0,000	0,050	0,857	1,244
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	5	2,746	10	0,742	402	135,524	0,000	0,072	0,223	0,606	0,702	1,603
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
35	45	26,758	46	6,318	1218	434,602	0,556	0,358	1,906	1,976	2,912	7,707
45	5	36,142	47	8,160	1537	494,246	0,773	0,366	2,462	2,512	3,352	9,464
45	15	36,142	50	9,564	1557	533,202	0,773	0,390	2,886	2,545	3,640	10,233
45	25	37,707	51	10,149	1558	544,602	0,809	0,397	3,062	2,547	3,724	10,540
45	35	39,447	54	12,363	1625	583,033	0,849	0,421	3,731	2,659	4,008	11,669
45	45	40,387	55	13,305	1659	590,428	0,871	0,429	4,015	2,716	4,063	12,095
<b>Mínimo</b>		2,746	1	0,003	41	40,455						1,160
<b>Desvio padrão</b>		43,217	125,800	3,313	595,634	135,371						

#### 4.5- ANÁLISE DOS LIMIARES

O índice para avaliação da segmentação proposto pela presente pesquisa necessita basicamente das imagens de referência e das imagens segmentadas.

Particularmente, neste trabalho foi utilizado o algoritmo de segmentação por crescimento de regiões, disponível no programa SPRING, para a obtenção das imagens segmentadas. Neste algoritmo, o número e o tamanho da regiões extraídas dependem da definição dos limiares de similaridade e área, que variam em intervalos unitários de 1 a 50.

Como o resultado do algoritmo de segmentação é uma variável dependente de outras duas variáveis, limiar de similaridade e limiar de área, a presente pesquisa procurou discriminar o comportamento e a influência de cada limiar sobre os parâmetros de discrepância que compõem o índice IAVAS. As análises descritas a seguir foram efetuadas sobre as combinações de limiares e seus respectivos índices IAVAS descritos no Apêndice G.

- Comprimento Total de Linhas

A Figura 4.18 (a) e (b) apresenta o resultado do parâmetro de discrepância comprimento total de linhas para cada imagem segmentada. Pela análise dos pontos plotados na Figura 4.18a, percebe-se que quanto maior for o limiar de similaridade, menor será a influência do limiar de área no comprimento total de linha de cada imagem segmentada (por exemplo: limiar de similaridade = 45).

Com base na curva de regressão (polinômio do 2º grau), percebe-se, ao longo do eixo de similaridade, grande variação no comprimento total de linhas, principalmente partindo de limiares baixos para os valores maiores. A regressão aplicada sobre os dados demonstra que pouco mais de 87% da variação do comprimento total de linhas é explicado pela variação do limiar de similaridade. O valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) equivalente a 0,8758 explica numericamente a influência da similaridade sobre o processo de segmentação e, conseqüentemente, a representação da extração dos limites entre os alvos por segmentos de linhas.

A Figura 4.18b apresenta o desempenho do algoritmo segmentador em relação ao comprimento total de linhas segundo a variação do limiar de área. Nota-se que, para cada limiar de área, o valor do comprimento total de linhas tem uma variação semelhante tanto para limiares baixos como para limiares maiores. Logo, ao alterar somente o limiar de área durante o processo de segmentação, a dimensão das linhas dentro dos planos segmentados será pouco alterada, o que não ocorre quando se altera somente o limiar de similaridade, pois a diferença entre o comprimento total de linhas de cada plano segmentado é maior.

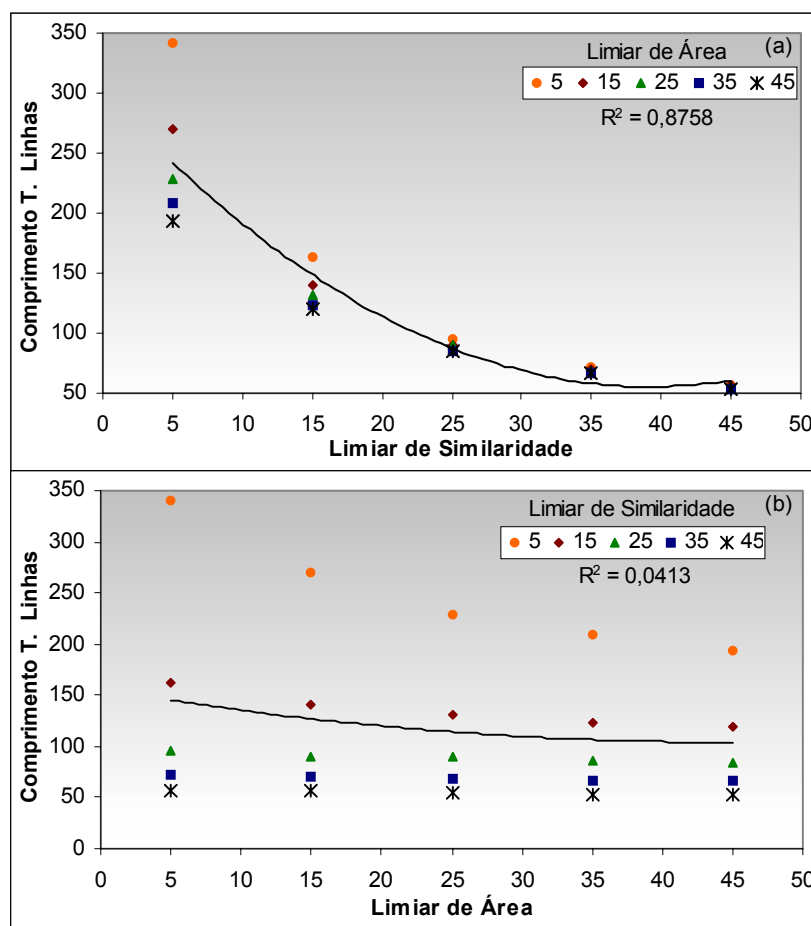


Fig. 4.18 – Parâmetro de discrepância *Comprimento Total de Linhas* em função dos limiares de (a) similaridade e (b) área.

- Número de Polígonos

De acordo com a própria definição do algoritmo crescimento de regiões, o limiar de similaridade determina se duas regiões adjacentes são semelhantes ou não durante o processo de agregação de regiões. Esta agregação pode ser mais exigente ou não conforme o limiar estabelecido no algoritmo.

Este comportamento pode ser facilmente identificado sobre a Figura 4.19a, onde um baixo limiar de similaridade (p.ex.: 5) produziu um grande número de polígonos. Além disso, fica claro que os maiores limiares de similaridade resultaram na identificação de poucos polígonos. A influência da variação do limiar de área sobre o parâmetro de discrepância *número de polígonos* é cada vez menor conforme o aumentam os valores



do limiar de similaridade (p.ex.: 45). Por outro lado, valores baixos para o limiar de similaridade produzem uma grande extração de regiões sobre a cena segmentada, pois uma pequena variação entre *pixels* vizinhos é o suficiente para alterar a média e superar o limiar estabelecido. Para esta situação, o limiar de área interfere com mais vigor no processo de agregação das regiões extraídas pelo segmentador, e conseqüentemente, no parâmetro de discrepância *número de polígonos*. Um exemplo desta influência pode ser visto na Figura 4.19a no gráfico limiar de similaridade versus número de polígonos, onde, para um limiar de similaridade pequeno (limiar = 5) o número de polígono variou entre 892 e 181 para os limiares de área 5 e 45, respectivamente.

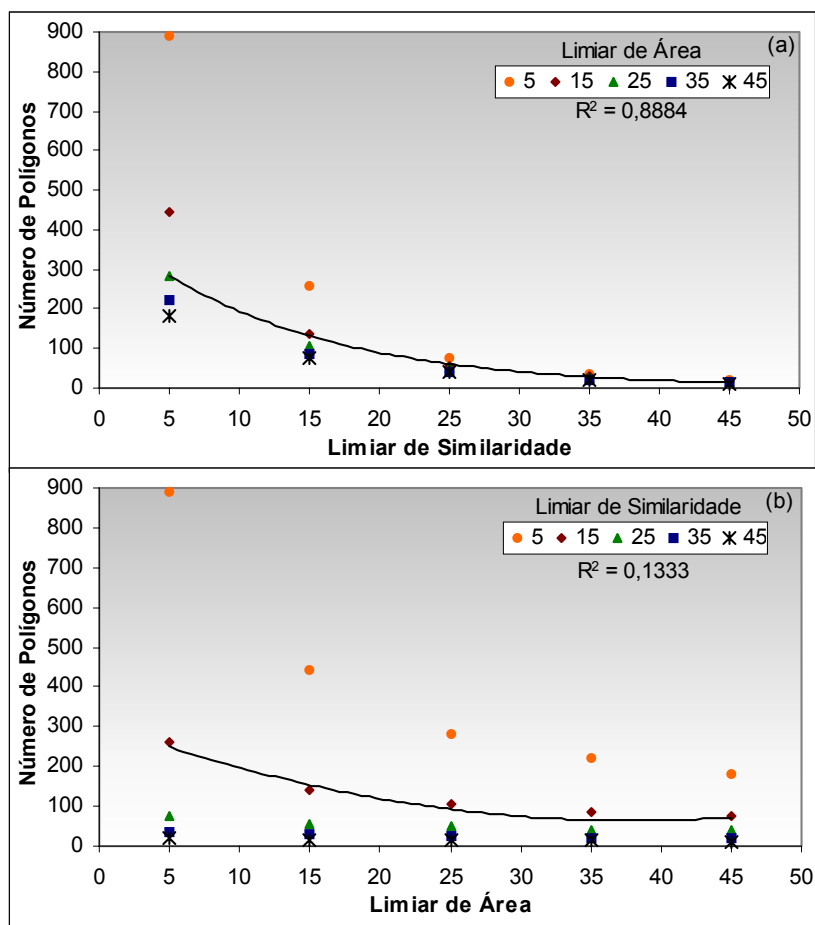


Fig. 4.19 – Parâmetro de discrepância *Número de Polígonos* em função dos limiares de (a) similaridade e (b) área.

A Figura 4.19b demonstra também a influência do limiar de área sobre o *número de polígonos* extraídos pelo algoritmo de segmentação por crescimento de regiões. A curva

do gráfico limiar de área versus número de polígonos referente ao limiar de similaridade igual a 5 é mais acentuada do que as demais curvas, justificando o que foi relatado novamente sobre a maior influência do limiar de área para pequenos limiares de similaridade.

Com relação ao número de polígonos identificados em uma imagem segmentada, o limiar de área apresentou um pequeno mas superior  $r^2$  (aproximadamente 13%), Figura 4.19b, quando comparado ao que foi obtido pelos mesmos limiares de área sobre o comportamento total de linhas ( $r^2 \cong 4\%$ ) conforme Figura 4.18b. Já o limiar de similaridade mais uma vez apresentou um  $r^2$  elevado, perto de 89%, sendo o principal responsável no resultado da segmentação tanto para a quantidade de polígonos como para o comprimento das linhas presentes em uma imagem segmentada.

- Variância da Área dos Polígonos

Ao analisar o parâmetro *variância das áreas dos polígonos* em cada imagem segmentada, percebe-se que o limiar de similaridade novamente é o principal responsável pelos resultados gerados pelo algoritmo segmentador utilizado para este parâmetro.

O gráfico variância da área versus limiar de similaridade da Figura 4.20a revela a pequena influência dos limiares de área para os baixos valores de similaridade. Já para o gráfico variância da área versus limiar de área (Figura 4.20b), nota-se uma grande variação do parâmetro *variância das áreas dos polígonos*, entre o menor e o maior limiar de similaridade, para todos os limiares de área analisados.

Cerca de 95% da variância da área entre os polígonos das imagens analisadas foi explicado pelo limiar de similaridade, conforme o coeficiente de determinação da regressão aplicada sobre o gráfico da Figura 4.20a. Este alto coeficiente confirma a importância do limiar de similaridade sobre a resposta do parâmetro *variância das áreas dos polígonos*. Já a regressão aplicada para o gráfico da Figura 4.20b forneceu  $r^2$  de 0,0232, indicando que os valores do parâmetro *variância das áreas dos polígonos* são

pouco explicados pela regressão, e, conseqüentemente, pelas variações entre limiares de área.

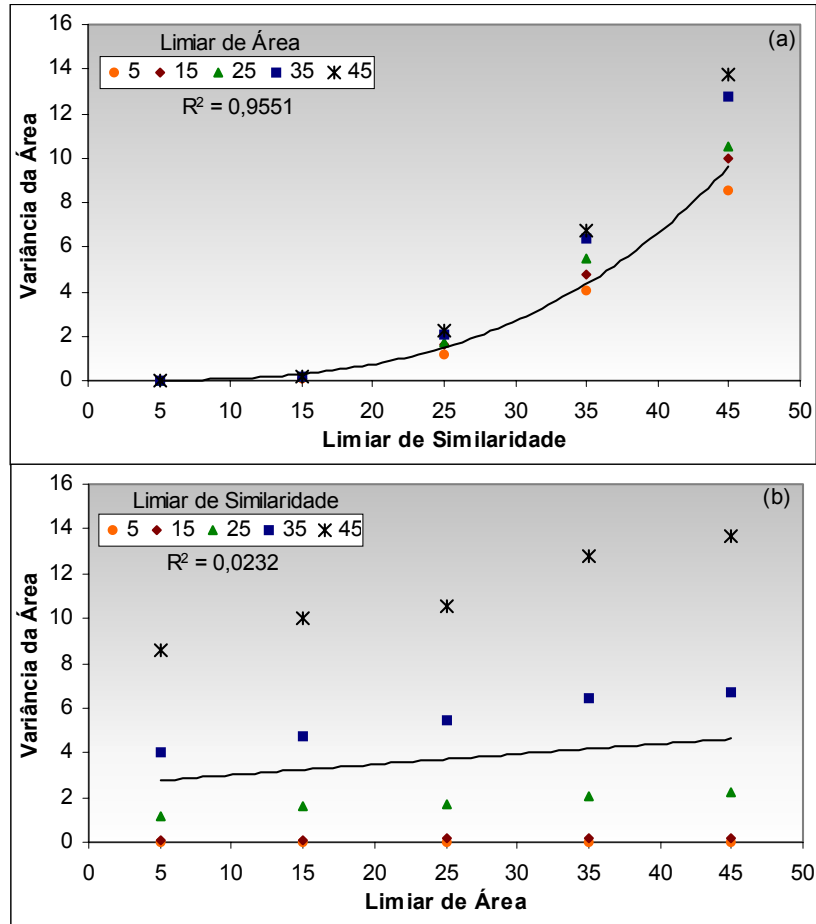


Fig. 4.20 – Parâmetro de discrepância *Variância das Áreas dos Polígonos* em função dos limiares (a) similaridade e (b) área.

- Centro de Massa mais Próximo

O comportamento do parâmetro de discrepância *centro de massa mais próximo* em relação aos limiares similaridade e área é semelhante ao comportamento apresentado pelo parâmetro de discrepância *variância das áreas dos polígonos*. A Figura 4.21 (a) e (b) apresenta o comportamento do *centro de massa mais próximo* perante a variação dos limiares de similaridade e área.

É interessante destacar (no gráfico da Figura 4.21a) que a diferença entre o maior e o menor valor de centro de massa mais próximo para cada limiar de similaridade é

pequena, e se mantém praticamente a mesma para todos os limiares de similaridade analisados. Logo, o limiar de área possui influência uniforme no cálculo do parâmetro *centro de massa mais próximo* independente da similaridade aplicada.

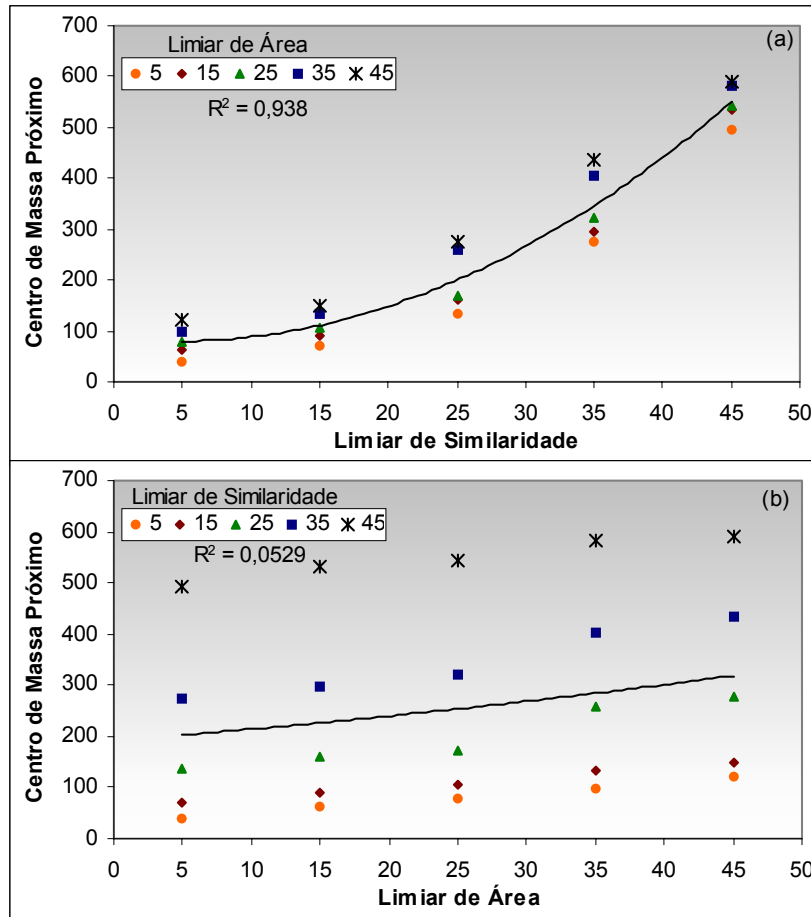


Fig. 4.21 – Parâmetro de discrepância *Centro de Massa mais Próximo* em função dos limiares de (a) similaridade e (b) área.

- Faixa de Coincidência

As influências dos limiares de similaridade e área sobre o parâmetro de discrepância *faixa de coincidência* são semelhantes às influências que ocorreram para o parâmetro *comprimento total de linhas*. Tal semelhança é justificada pelo fato de o parâmetro faixa de coincidência ser calculado sobre as linhas presentes na imagem segmentada.

O comportamento da faixa de coincidência de acordo com a variação dos limiares está apresentado na Figura 4.22 (a) e (b). A regressão (do polinômio de 2º grau) efetuada

sobre o gráfico da Figura 4.22a demonstra que aproximadamente 88% das variações do parâmetro de discrepância *faixa de coincidência* são atribuídas aos limiares de similaridade.

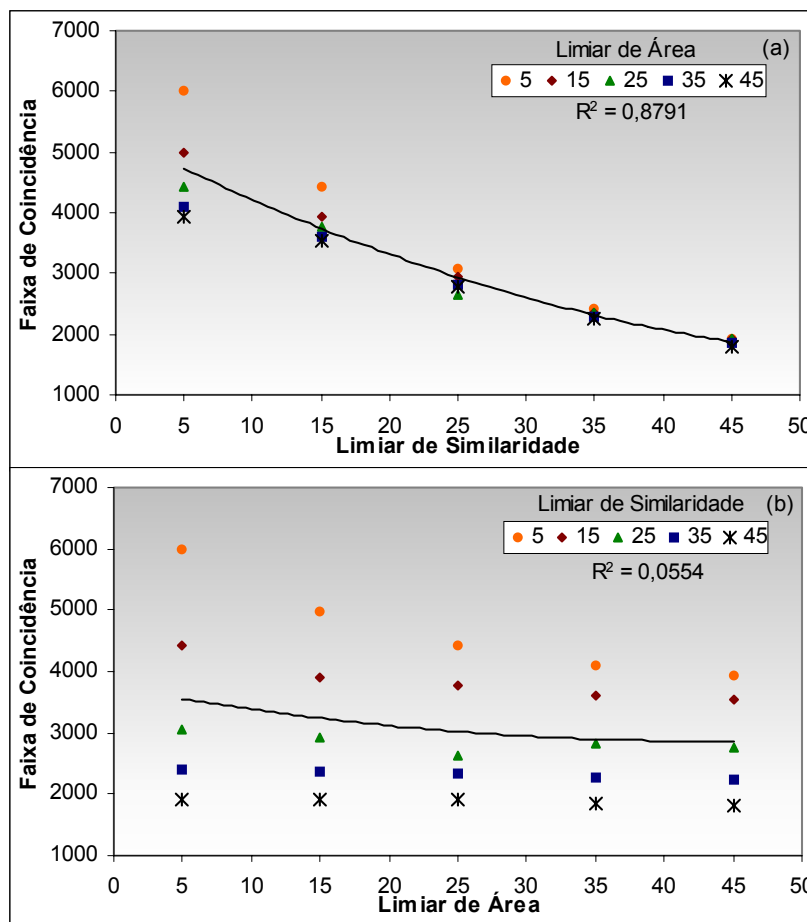


Fig. 4.22 – Parâmetro de discrepância *Faixa de Coincidência* em função dos limiares de (a) similaridade e (b) área.

Entre os cinco parâmetros de discrepância analisados, observou-se que o *comprimento total de linhas*, *número de polígonos* e *faixa de coincidência* possuem um relacionamento negativo em relação aos limiares, ou seja, os menores valores calculados para cada parâmetro foram obtidos a partir dos maiores limiares. É importante destacar que as maiores variações entre os resultados obtidos para cada parâmetro foram alcançadas com os menores limiares.

Para os parâmetros *variância da área dos polígonos* e *centro de massa mais próximo* o relacionamento foi positivo com os limiares de área e similaridade (os maiores limiares causaram os maiores valores dos parâmetros).

Procurando analisar o baixo comportamento dos  $r^2$  obtidos para os limiares de área, quantificou-se o número de *pixels* em cada polígono extraído na *ImgSeg1645* e, posteriormente, efetuado um agrupamento dos polígonos com as seguintes faixas de *pixels*: a) 1 a 50; b) 51 a 101; c) 101 a 150; d) 151 a 200 e e) polígonos com mais de 200 *pixels*. A Figura 4.23 apresenta a percentagem de polígonos para cada faixa em relação ao número total de alvos identificados pelos limiares 16 / 45 sobre a área de estudo.

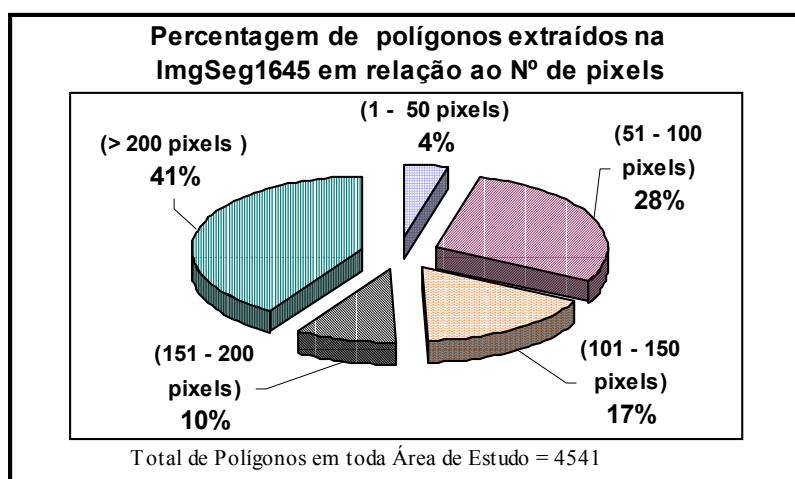


Fig. 4.23 – Percentagem de polígonos da *ImgSeg1645* em relação ao seu número de *pixels*.

A Figura 4.23 demonstra que somente 4% dos polígonos extraídos pela segmentação possuem áreas menores que 50 *pixels*. Este baixo valor explica a pequena influência dos limiares de área sobre os valores do índice IAVAS, pois as variações efetuadas para análise do comportamento do limiar de área permaneceram entre 1 e 50 *pixels*. Portanto, tal variação de limiares não correspondeu ao tamanho dos polígonos presente na área de estudo (96% dos polígonos com área superior a 50 *pixels*).

#### 4.6- REFERÊNCIA DE CAMPO X REFERÊNCIA DE TELA - VANTAGENS E DESVANTAGENS

A única exigência para a aplicação do índice de avaliação da segmentação, denominado IAVAS, é a constituição de duas imagens. A primeira imagem refere-se ao produto do algoritmo segmentador e a segunda imagem está relacionada com o dado de referência (fundamental para uma boa avaliação). Como descrito anteriormente, há duas formas de obter uma imagem de referência quando se avalia o processo de segmentação sobre uma imagem orbital: referência de campo, que é o reconhecimento em campo dos alvos de interesse para a avaliação da segmentação; e referência de tela, a qual é adquirida apenas com a interpretação visual pelo operador.

A presente pesquisa, buscando analisar a influência da imagem de referência sobre o índice IAVAS, avaliou as segmentações para as áreas testes 1 e 2 com relação à referência de campo e referência de tela. As segmentações definidas como os melhores resultados estão contidas na Tabela 4.16.

TABELA 4.16 – MELHORES RESULTADOS DO ÍNDICE IAVAS CONFORME A IMAGEM DE REFERÊNCIA ANALISADA

	<b>Referência Campo</b>	<b>Referência de Tela</b>
Área Teste Nº 1	ImgSeg1240	ImgSeg1644 ImgSeg1645
Área Teste Nº 2	ImgSeg1623 ImgSeg1624	ImgSeg1633
Área de Estudo	ImgSeg1624	ImgSeg1644 ImgSeg1645

Apesar de as imagens de referência (referência de campo e referência de tela) terem a mesma função, elas possuem vantagens e desvantagens (Tabela 4.17) distintas tanto para a obtenção de cada uma, como para o processo de avaliação da imagem.

TABELA 4.17 – VANTAGENS E DESVANTAGENS ENTRE REFERÊNCIA DE CAMPO E REFERÊNCIA DE TELA

	Vantagens	Desvantagens
<b>Referência de Campo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• São levantados os limites físicos dos alvos de interesse;</li> <li>• Os limites são definidos com alta precisão conforme as técnicas e equipamentos utilizados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de levantamento em campo e equipamentos de precisão como o GPS, com conseqüente aumento de custo;</li> <li>• Obtenção dos limites é um processo demorado (principalmente em grandes áreas) sujeito às condições climáticas e de relevo;</li> <li>• Em alguns casos, divisas físicas entre propriedades e a rede de drenagem impossibilitam o levantamento do alvo de interesse;</li> <li>• Regiões onde o sinal GPS é bloqueado (ex.: árvores);</li> <li>• A presença de limites em campo e não na imagem (e vice versa) devido à grande dinâmica do uso do solo em áreas agrícolas;</li> <li>• Restrita visão local do uso do solo durante o levantamento;</li> <li>• Um limite físico no terreno não significa necessariamente um limite espectral na imagem.</li> </ul>
<b>Referência de Tela</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem necessidade do reconhecimento de campo e de equipamentos de precisão para extração dos limites. Conseqüentemente, a imagem de referência é obtida com menor custo e tempo de trabalho; logo, o tamanho da área teste pode ser maior;</li> <li>• Ampla visão da área de estudo – facilidade para a localização das áreas-testes conforme o tipo de aplicação definido;</li> <li>• Utilização das técnicas de processamento de imagem (contraste, filtros para realce de borda, composição falsa cor) para destacar os limites espectrais dos alvos de interesse;</li> <li>• Visão ampla do uso do solo e da distribuição espacial dos alvos de interesse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os limites são identificados pela resposta espectral dos alvos. Desta forma certos detalhes não são identificados conforme a resolução da cena e escala de trabalho utilizada.</li> </ul>



Pela análise das segmentações definidas para cada área de acordo com a referência de campo e referência de tela aplicado no índice IAVAS, e pela análise da influência dos limiares de similaridade e área sobre os parâmetros de discrepância que compõem o índice para avaliação da segmentação, conclui-se que:

- A referência de tela é mais adequada ao *tipo de aplicação* definido para cada segmentação a ser efetuada, pois a extração dos limites de referência está relacionada diretamente com a interpretação feita pelo operador. Além disso, os limites são identificados conforme a resposta espectral dos alvos, o que é fundamental para o critério de decisão do algoritmo crescimento de regiões. Desta forma limites físicos existentes em campo e imperceptíveis pelo sensor (ex.: rodovias entre talhões com solo preparado para plantio) não são introduzidos na imagem de referência, o que contribui diretamente para a qualidade da avaliação;
- As vantagens da referência de tela (Tabela 4.17) são superiores e mais aplicáveis no processo de avaliação da segmentação automática de imagens orbitais;
- As variações entre os limiares de similaridade e área definidos para a *referência de campo e referência de tela* em cada área teste foram pequenas, e portanto, pouco significativas no que tange à qualidade da segmentação através do índice IAVAS.

#### **4.7- ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO DO ESPAÇO DE COMBINAÇÕES**

O objetivo deste item é avaliar a eficiência do processo de *otimização do espaço de combinações*, proposto nesta pesquisa. Esse procedimento causou uma redução do número total de possibilidades de 2500 para no máximo 53 segmentações. A forma correta de verificar esta eficiência seria a avaliação de todas as 2500 segmentações possíveis, para uma área teste, e a definição do melhor **resultado absoluto** através do índice IAVAS. Posteriormente deveria ser conferido se o melhor resultado obtido entre as 53 segmentações, definidas pelas etapas da otimização, seria o mesmo *resultado absoluto* ou quanto estaria distante dele.

Devido ao grande esforço computacional e tempo necessário para determinar o *resultado absoluto* entre as 2500 combinações possíveis, foram definidas apenas 184 combinações aleatórias na área 1 e 206 na área 2 para analisar o comportamento do índice IAVAS. A Tabela 4.18 apresenta as melhores segmentações definidas pelo índice IAVAS conforme o número de combinações analisadas.

TABELA 4.18 - MELHORES RESULTADOS DO ÍNDICE IAVAS CONFORME O NÚMERO DE SEGMENTAÇÕES ANALISADAS

		Referência de Campo	Referência de Tela
Área 1	53 segmentações (combinações definidas pelas etapas de otimização do espaço)	<i>ImgSeg1240</i>	ImgSeg1644 ImgSeg1645
	184 segmentações (combinações aleatórias)	<i>ImgSeg1240</i>	ImgSeg1634
Área 2	53 segmentações (combinações definidas pelas etapas de otimização do espaço)	ImgSeg1623 ImgSeg1624	<i>ImgSeg1633</i>
	206 segmentações (combinações aleatórias)	ImgSeg1524	<i>ImgSeg1633</i>

Os dados da Tabela 4.18 apresentam duas divergências entre os melhores resultados, em função do número de combinações analisadas. A primeira divergência ocorreu com a referência de tela para a área 1, e a segunda na análise da área 2 com base na referência de campo.

Já que o resultado fornecido pelo processo de *otimização do espaço de combinações* divergiu do resultado obtido com um maior número de combinações, o próximo passo foi avaliar se realmente as diferenças encontradas alteravam significativamente a qualidade da segmentação calculada pelo índice IAVAS.

Para isto foi analisada a variação do índice IAVAS, utilizando a imagem referência de tela, entre os 184 pares de limiares da área 1. O resultado desta análise está apresentado nas Figuras 4.24 e 4.25 com as seguintes conclusões:

- a) os pares que forneceram as melhores segmentações após a avaliação do índice IAVAS formam a região mais baixa do gráfico. Esta região, representada como

um “vale” na Figura 4.25, expressa claramente uma tendência do maior para o menor valor do índice, conforme a variação dos limiares de similaridade e área;

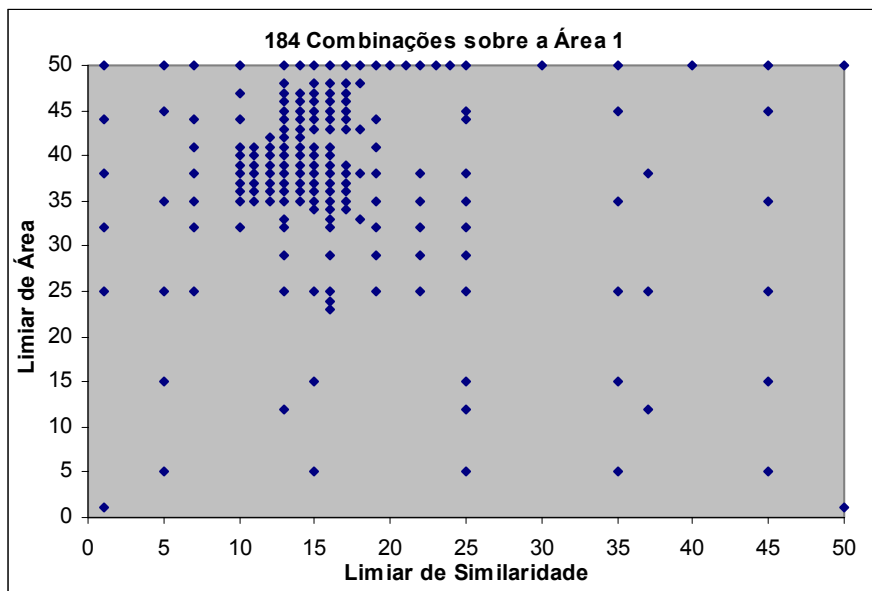


Fig. 4.24 - 184 combinações entre os limiares de similaridade e área definidos sobre a área 1.

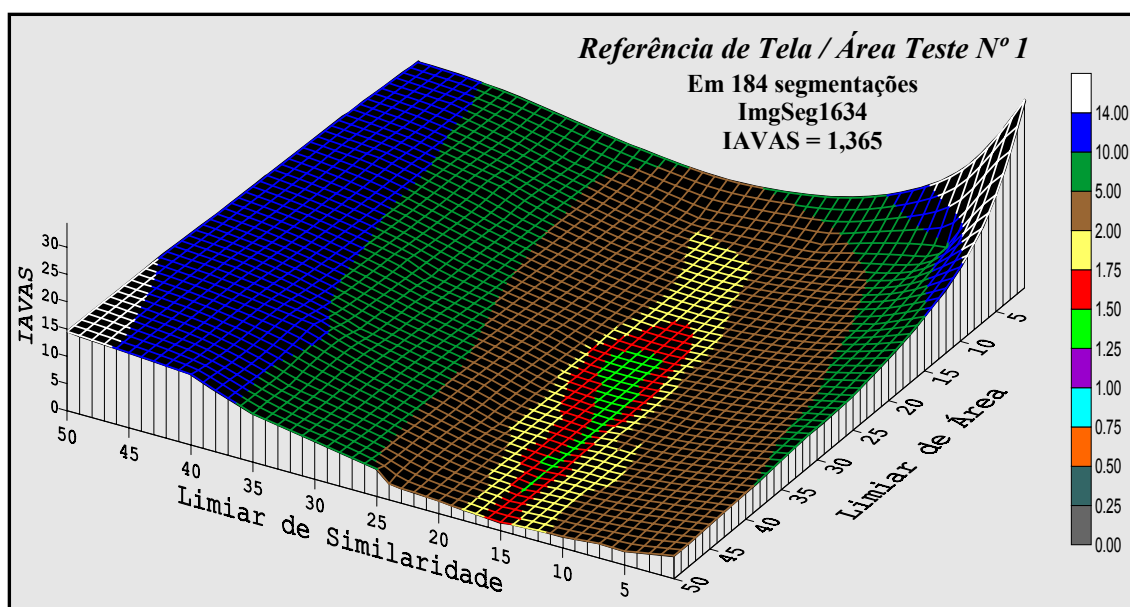


Fig. 4.25 – Comportamento do índice IAVAS (das 184 combinações) com base na referência de tela para a área1.

- b) O “vale” modelado na Figura 4.25 indica que o melhor *resultado absoluto* do índice IAVAS encontra-se nesta região.

Pela análise das divergências entre as imagens definidas na Tabela 4.18 para a referência de tela, e o comportamento do índice IAVAS conforme a variação dos limiares de similaridade e área apresentado na Figura 4.25, conclui-se que o procedimento para a *otimização do espaço de combinações* forneceu excelentes resultados no processo de avaliação das segmentações. Esta eficiência é comprovada pelos seguintes fatores:

- O processo de otimização do espaço de combinações utiliza 53 pares de limiares (apenas 2,12%) entre as 2500 combinações possíveis do algoritmo crescimento de regiões;
- A *ImgSeg1644* e a *ImgSeg1645* estão contidas na região dos menores índices IAVAS do gráfico da Figura 4.25 e, conseqüentemente, na região em que as combinações forneceram as melhores segmentações conforme a imagem referência de tela;
- O menor índice IAVAS entre as 184 segmentações da área 1 com base na referência de tela foi 1,365 apresentado pela *ImgSeg1634*. Já as *ImgSeg1644* e *ImgSeg1645* definidas pelos procedimentos de otimização forneceram um IAVAS de 1,449, o que representa uma diferença de 0,084 para o melhor índice (o Apêndice H apresenta os índice IAVAS para cada uma das 184 segmentações). De acordo com as análises efetuadas no item 4.5, pequenas alterações entre os limiares de similaridade e área resultam em diferenças poucos expressivas sobre o índice IAVAS. Conseqüentemente, a diferença de apenas 0,084 pontos comprova que o processo de otimização do espaço de combinações tem uma eficiência satisfatória em definir as combinações entre limiares. Esta diferença pode ser analisada na Figura 4.26, onde as alterações entre os segmentos extraídos pela combinação *ImgSeg1634* para a *ImgSeg1644* estão assinaladas por um círculo amarelo.

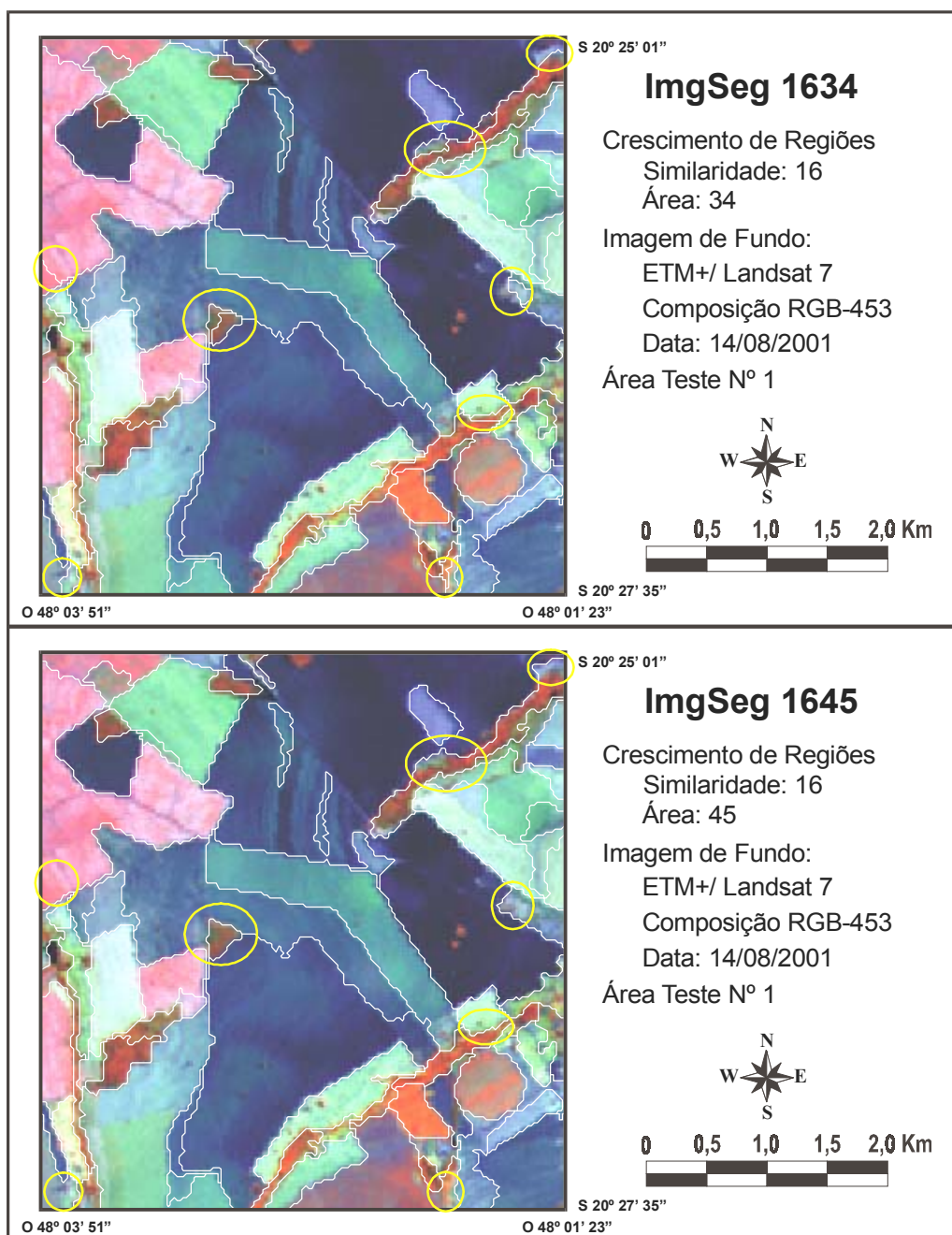


Fig. 4.26 – Diferenças entre os segmentos extraídos pela combinação de limiares da ImgSeg1634 e pela combinação da ImgSeg1645.

- Uma diferença ainda menor foi observada na avaliação das 206 segmentações sobre a área 2 com base na referência de campo, onde a ImgSeg1623 e a ImgSeg1624 (definidas pelo processo de otimização) ficaram 0,003 pontos acima do menor índice definido pela ImgSeg1524 (o Apêndice I apresenta o

comportamento do índice IAVAS para as 206 segmentações analisadas sobre a área 2).

As diferenças apresentadas na Figura 4.26 entre o resultado da segmentação gerado pela combinação dos limiares 16/34, e o resultado da segmentação com os limiares 16/45, consistem em alguns segmentos de linhas em regiões com pouca definição espectral entre os alvos. Percebe-se ainda que na maioria dos casos a divergência entre os limites foi decorrente de uma subdivisão interna dos talhões agrícolas.

#### **4.8- SEGMENTAÇÃO PARA A ÁREA DE ESTUDO**

O item 4.7 descrito anteriormente confirma a eficiência do processo de otimização do espaço de combinações, em conjunto com o índice IAVAS, para a avaliação das segmentações efetuadas na presente pesquisa. Logo, os valores de limiares determinados para cada área-teste, de acordo com as respectivas imagens de referência, estão de acordo com o tipo de aplicação definido para a segmentação.

Com base nas vantagens da imagem de referência gerada pela interpretação feita pelo operador (referência de tela) e descrita no item 4.6, foram escolhidos os valores 16 e 45 para os limiares de similaridade e área, respectivamente, como representantes da área de estudo. Estes limiares foram obtidos após a avaliação pelo índice IAVAS com base na imagem referência de tela (conforme o item 4.4.3). A Figura 4.27 apresenta os segmentos da ImgSeg1645 identificados pelo algoritmo crescimento por regiões para toda a área de estudo.

O resultado da segmentação em toda a imagem foi satisfatório para o propósito da identificação dos limites agrícolas como um processo anterior à classificação para quantificação de área plantada. Particularmente nas áreas-testes destacadas na Figura 4.27 observa-se o excelente resultado gerado pelos limiares 16 / 45 no algoritmo crescimento de regiões.

Fig. 4.27 – Imagem segmentada com os limiares 16/45 e sobreposta à imagem ETM+





## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos dados e na abordagem metodológica utilizada, os resultados alcançados na presente pesquisa permitem indicar algumas conclusões e sugestões apresentadas a seguir.

A utilização da técnica de segmentação por crescimento de regiões sobre a imagem ETM<sup>+</sup>/Landsat mostrou-se eficiente na delimitação dos alvos agrícolas presentes na cena, segundo os limiares de similaridade e de área indicados no processo de avaliação. Os valores de limiares mais baixos apresentaram um particionamento excessivo, tornando as regiões visualmente confusas. Por outro lado, os valores mais altos de limiares agruparam em um mesmo segmento regiões espectralmente distintas, fazendo com que houvesse uma perda total ou parcial de algumas regiões de interesse.

A metodologia quantitativa e objetiva para avaliação da segmentação, representada pelo *índice para avaliação da segmentação* (IAVAS), mostrou-se eficaz no processo de avaliação dos resultados gerados pelo algoritmo segmentador, identificando com clareza os pares de limiares que produziram valores coerentes com a imagem de referência.

Os parâmetros de discrepância que compõem o índice IAVAS: *número de polígonos*, *comprimento total de linhas*, *variância das áreas dos polígonos*, *centro de massa mais próximo* e *faixa de coincidência* mostraram-se eficazes na identificação do número, da quantidade, do tamanho e da posição dos alvos de interesse na imagem segmentada de acordo com o tipo de aplicação definida nesta pesquisa.

Neste trabalho, o objetivo da segmentação foi a delimitação dos talhões sobre a imagem orbital. Embora a imagem de referência elaborada a partir do levantamento de campo seja o dado que mais se aproxima da realidade, a necessidade de ser efetuado um reconhecimento de campo próximo à data de aquisição da imagem a ser segmentada, associada à complexidade do levantamento dos dados (custos, equipamentos, condições climáticas e de relevo, dificuldade de acessibilidade à área de interesse e grandes

dimensões a percorrer no terreno), fez com que fosse pouco prática a aplicação da *Referência de Campo* no processo de avaliação da segmentação. Além disso, a possibilidade da introdução de limites no terreno que não são caracterizados como limites espectrais na imagem provocam uma queda significativa na qualidade da avaliação, pois o índice IAVAS estará avaliando o produto da segmentação tomando por referência um dado inconsistente.

Por outro lado, a *Referência de Tela* mostrou-se prática, rápida e precisa, e forneceu resultados coerentes com a realidade de campo, sem ter os inconvenientes da referência de campo. Esta maior eficiência é atribuída ao uso da interpretação visual pelo operador, pois este utiliza a resposta espectral da cena para o critério de decisão durante a segmentação manual. O algoritmo segmentador também utiliza esta resposta para extrair os limites de uma imagem.

O processo de avaliação da segmentação foi facilitado com a definição de duas áreas testes que representassem de forma satisfatória os usos do solo na área de estudo. Essas áreas-testes proporcionaram uma ampla análise da segmentação, pela execução de várias combinações de limiares, em menor tempo e custo computacional.

O processo de *otimização do espaço de combinações* provou sua eficácia ao identificar, juntamente com o índice IAVAS, pares de limiares com resultados satisfatórios conforme a imagem de referência aplicada. Os resultados foram obtidos apenas em um conjunto de 53 segmentações, o que representa 2,12% das 2500 combinações possíveis entre os limiares de similaridade e área no algoritmo de segmentação por crescimento de regiões. Este baixo número de segmentações proporcionou menor custo computacional e maior rapidez para o processo de avaliação.

O índice IAVAS, associado ao *processo de otimização do espaço de combinações*, forneceu pares de limiares com excelentes resultados para ambas as áreas testes. Com isso pode-se concluir que, se o par de limiares indicado pelo processo de otimização não for realmente a melhor segmentação entre as 2500 combinações possíveis no algoritmo crescimento de regiões, o resultado da segmentação aqui obtida não está distante do *resultado absoluto*, pois pequenas variações dos limiares de similaridade e área resultam

em alterações mínimas nos valores dos parâmetros de discrepância, e conseqüentemente, no cálculo do índice IAVAS. Logo, estas possíveis diferenças entre o resultado definido pelo processo de otimização e o *resultado absoluto* obtido entre todas as 2500 combinações deverão ser pequenas e de pouca influência no produto final de uma classificação por regiões.

Apesar de a metodologia ter sido desenvolvida em uma área tipicamente agrícola, onde o objetivo da segmentação consistia em delimitar os talhões para a quantificação da superfície cultivada, o índice IAVAS pode ser aplicado a inúmeras outras situações. Esta flexibilidade está diretamente relacionada com a *Referência de Tela*, pois a interpretação visual pelo usuário possibilita adequar a imagem de referência para inúmeras situações, de acordo com o tipo de aplicação definido para a segmentação.

Por fim, recomenda-se que a metodologia para avaliação de segmentação apresentada nesta pesquisa seja implementada em algoritmos computacionais, de forma que as análises necessárias sejam efetuadas automaticamente, possibilitando um estudo com áreas-testes mais abrangentes e com um maior número de combinações entre limiares.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida Filho, R.; Vitorello, I.; Bins, L.S. Application of image merging, segmentation and region-classification techniques as a new approach for the detailed thematic mapping of soil-vegetation assemblages. **Revista Brasileira de Geociências**, v.27, n.2, p.207-210, 1997.
- Alves, D.S.; Moreira, J.C.; Mello, E.M.K.; Soares, J.V.; Silva, O.F.; Almeida, S.A.S.; Ortiz, J.O.; Amaral, S. Mapeamento do uso da terra em Rondônia utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, abr. 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. Sessão de Artigos. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/01.27.15.19>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/sid.inpe.br/deise/1999/01.27.15.19>>. Acesso em: 10/06/2002.
- Barros, M.G.M.; Luiz, A.J.B.; Epiphanyo, J.C.N. Segmentação multitemporal de imagens em áreas agrícolas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., Foz do Iguaçu-PR, abr. 2001. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001. Sessão Poster. p. 759-767. Repositório da URLib: <dpi.inpe.br/lise/2001/09.12.16.33.56>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/dpi.inpe.br/lise/2001/09.12.16.33.56>>. Acesso em: 10/06/2002.
- Batista, G.T.; Nascimento, P.S.R.; Almeida Filho, R. Efeito de pré-processamento (filtro mediana) no desempenho da segmentação e classificação de imagens Landsat-TM. In: Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota, 8., Mérida, Venezuela, 1997. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1997. Sessão Técnica e Metodológica.
- Bernardes, S. **Índices de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estádios sucessionais na área de influência da Floresta Nacional do Tapajós no Estado do Pará**. São José dos Campos. 117 p. (INPE-6890-TDI/651). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.
- Bins, L.S.; Fonseca, L.M.G.; Erthal, G. J.; Ii, F M. Satellite imagery segmentation: a region growing approach. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, abr. 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. Sessão de Comunicações Técnico Científicas. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/02.05.09.30>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/sid.inpe.br/deise/1999/02.05.09.30>>. Acesso em: 10/06/2002.

- Boissezon, H.; Sharman, M. Rapid estimates of crop production using remote sensing: European experience. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1993. v. 4, p. 442-449.
- Borsotti, M.; Campadelli, P.; Schettini, R. Quantitative evaluation of color image segmentation results. **Pattern Recognition Letters**, v.19, n.8, p.741-747, 1998.
- Braga, C.Z.F.; Gherardi, D.F.M. Mapeamento de Recifes Costeiros utilizando imagens orbitais. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., Foz do Iguaçu, abr. 2001. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001. Sessão Técnica Oral. p. 759-767. Repositório da URLib: <dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.12.05>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.12.05>>. Acesso em: 10/06/2002.
- Burrough, P.A.; McDonnell, R.A. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University Press, 1998. 333 p.
- Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas U. M.; Garrido, J. C. P. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. **Computers and Graphics**, v.15, n.6, p.13-22, 1996.
- Chaves, J.M.; Moreira, L.; Sano, E. E.; Bezerra, H.; Feitoza, L. Uso da técnica de segmentação na identificação dos principais tipos de pastagens cultivadas do Cerrado. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., Foz do Iguaçu, 2001. **Anais**. São José dos Campos: INPE, abr. 2001. Sessão Poster. p. 31-33. Repositório da URLib: <dpi.inpe.br/lise/2001/09.12.16.36>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/dpi.inpe.br/lise/2001/09.12.16.36>>. Acesso em: 10/06/2002.
- Chen, S.C. Separabilidade espectral de cultura de verão a partir de dados digitais do satélite TM-Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, out.1988. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1988. v. 1, p. 211-216.
- **Contribuição de dados de satélite no sistema de previsão de safras**. São José dos Campos: INPE, 1990. 7 p. (INPE-5087-PRE/1595).
- Collares, J.E.R.; Lauria, C.A.; Carrilho, M.M. Pesquisa de previsão e acompanhamento de safras baseada em painéis de amostras de áreas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1993. v. 1, p. 450-453.

- Coutinho, A.C.; Miranda, E.E.; Miranda, J.R. Mapeamento da superfície terrestre através da utilização do método de segmentação por crescimento de regiões e classificação supervisionada de imagens de satélite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, set. 1998. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1998. Sessão Poster. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/02.10.14.12>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/sid.inpe.br/deise/1999/02.10.14.12>. Acesso em: 10/06/2002.
- Cross, A.M.; Mason, D.C.; Durty, S.J. Segmentation of remotely-sensed images by a split-and-merge process. **International Journal of Remote Sensing**, v.9, n.8, p.1329-1345, 1988.
- Crósta, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP: 1993. 170 p.
- D'Alge, J.C.L. **Registro de imagens digitais**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002). Comunicação pessoal.
- Epiphanyo, J.C.N.; Formaggio, A.R.; Valeriano, M.M.; Oliveira, J.B. **Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1992. 132 p. (INPE-5424-PRP/172).
- Epiphanyo, J.C.N.; Leonardi, L.; Formaggio, A.R. Relações entre parâmetros culturais e resposta espectral de cafezais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.3, p. 439-447, Mar. 1994.
- Epiphanyo, J.C.N.; Barros Neto, O.O.; Luiz, A.J.B.; Formaggio, A.R. Sistema de amostragem em imagem como base para estimativa de áreas de culturas agrícolas no município de Ipuã-SP. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., Foz do Iguaçu-PR, 2001. **Anais**. INPE - São José dos Campos, 2001. Sessão Técnica Oral. p. 59-66. Repositório da URLib: <dpi.inpe.br/lise/2001/09.12.16.47>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/dpi.inpe.br/lise/2001/09.12.16.47>. Acesso em: 10/06/2002.
- Fonseca, L.M.G. **Capítulo 3: Pré-processamento de imagens**. [on line]. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~leila/ser437/PDI\_3\_correcao.pdf>. Abr. 2002a.
- **Capítulo 5: Realce de imagens**. [on line]. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~leila/ser437/PDI\_5\_realce.pdf>. Abr. 2002b.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Multiple frame agricultural surveys**. Roma, 1996. 119 p. (FAO Statistical Developmente Series 7).

- Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N **Características espectrais de coberturas e rendimento agrícola**. São José dos Campos: INPE, 1990. 166 p. (INPE-5125-RPE/630).
- Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N.; Valeriano, M.M.; Oliveira, J.B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 3, p. 467-474, 1996.
- GARMIN. **GPSIII Plus: manual de referência**. GARMIN International, Olathe – USA, 1999, 96 p.
- Gates, D. M.; Keegan, H. J.; Scheleter, J. C.; Wedner, V. R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v. 4, n. 1, p. 11-20, Jan. 1965.
- Giannotti, M.A. **Geotecnologias na análise de impactos sócio-ambientais: O caso da queima da cana-de-açúcar na região de Piracicaba**. São José dos Campos. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.
- Gonzalez, R.C.; Wintz, P. **Digital image processing**. Prodding: Addison Wesley, 1987. 431 p.
- González-Alonso, F.; Cuevas, J.M.; Arbiol, R.; Baulies, X. Remote sensing and agricultural statistics: crop area estimation in north-eastern Spain through diachronic Landsat TM and ground sample data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 2, p. 467-470, 1997.
- Haralick, R.M.; Shapiro, L.G. **Image segmentation techniques**. Machine Vision International: Ann Arbor, 1984. 245 p.
- Hill, J.; Mégier, J. Regional land cover and agricultural area statistics and mapping in the Department Ardeche, France, by use of Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 9, nos 10 e 11, p 1573-1595, 1988.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Ipuã (SP): Carta topográfica**. SF-22-X-B-III-4. Rio de Janeiro, 1972a. (Carta em escala 1:50.000).
- **Ituverava: Carta topográfica**. SF-23-V-A-I-3. Rio de Janeiro, 1972b. (Carta em escala 1:50.000).
- **Jeriquara: Carta topográfica**. SF-23-V-A-I-4. Rio de Janeiro, 1972c. (Carta em escala 1:50.000).
- **Morro Agudo: Carta topográfica**. SF-22-X-B-VI-2. Rio de Janeiro, 1972d. (Carta em escala 1:50.000).



- **São Joaquim da Barra:** Carta topográfica. SF-23-V-A-IV-2. Rio de Janeiro, 1972e. (Carta em escala 1:50.000).
- **São Joaquim da Bela Vista:** Carta topográfica. SF-23-V-A-IV-1. Rio de Janeiro, 1972f. (Carta em escala 1:50.000).
- **Pesquisas agropecuárias.** Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 360 p. (Série Relatórios Meteorológicos, 6).
- Instituto nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Imagem de satélite Landsat ETM+ - ORB 220 P 074.** [CD ROM]. Data Pass. 14.08.2001. Cachoeira Paulista: Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2001.
- **Manual do Spring: Registro.** [on line]. Disponível em:  
<<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/registro.htm>> Jan. 2002a.
- **Manual do Spring: Segmentação.** [on line]. Disponível em:  
<[http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c\\_segmen.htm](http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c_segmen.htm)> Jan. 2002b.
- **Manual do Spring: Tabulação cruzada.** [on line]. Disponível em:  
<<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/tabcr.htm>> Jan. 2002c.
- Ippoliti-Ramilo, G.A. **Imagens TM/Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão da área de cultura de verão.** São José dos Campos. 150 p. (INPE-7116-TDI/668). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- Ippoliti-Ramilo, G.A.; Epiphanyo, J.C.N.; Shimabukuro, Y.E.; Formaggio, A.R. Sensoriamento remoto orbital como meio auxiliar na previsão de safras. **Agricultura em São Paulo**, v. 46, n. 1, p. 89-101, 1999.
- Kartikeyan, B.; Sarkar, A.; Majumder, K. L. A segmentation approach to classification of remote sensing imagery. **International Journal of Remote Sensing**. v.19, n.9, p.1695-1709, 1998.
- Lucca, E.V.D. **Avaliação e comparação de algoritmos de segmentação de imagens de radar de abertura sintética.** São José dos Campos. 207p. (INPE-7507-TDI/721). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998 Repositório da URLib: <[sid.inpe.br/deise/2000/04.27.16.28](http://sid.inpe.br/deise/2000/04.27.16.28)>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1912/rep/sid.inpe.br/deise/2000/04.27.16.28>>. Acesso em: 10/06/2002.
- Luiz, A.J.B. **Sensoriamento remoto agrícola.** São José dos Campos: INPE, 2002a. 102p. (INPE-8858-PUD/57).

- **Auxílio das imagens de satélite aos levantamentos amostrais agrícolas.** (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002b). Comunicação pessoal.
- **Normalização de um conjunto de valores.** (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002c). Comunicação pessoal.
- Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed imagens:** an introduction. 2. ed., Great Britain: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.
- Moreira, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 1 ed., São José dos Campos: INPE, 2001. 250 p.
- Moreira, L.; Assad, E.D. Segmentação e classificação supervisionada no uso da terra na microbacia do córrego Lamarão-DF. [CD-ROM]. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 19, Recife, 1999. **Anais.** SBC, 1999. Sessão de Comunicações Técnico Científicas.
- Moreira, L.; Assad, E.D. Segmentação e classificação supervisionada para identificar pastagens degradadas. In: Workshop Brasileiro de GeoInformática, 2, São Paulo, 2000. **Anais.** INPE - São José dos Campos: INPE, 2000. p.10-15
- Moreira, M.A.; Souza, I.M. Análise de resultados de segmentação por crescimento de regiões em diferentes técnicas de processamento digital de dados do Landsat/TM para mapeamento de área cafeeira. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., Foz do Iguaçu, abr. 2001. **Anais.** São José dos Campos: INPE, 2001. Sessão Poster. p. 119-122. Repositório da URLib: <dpi.inpe.br/lise/2001/09.13.10.56>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/dpi.inpe.br/lise/2001/09.13.10.56>. Acesso em: 10/06/2002.
- Moura, V. **Imagens multitemporais TM/LandSat-5 da época de pré-plantio na estimativa de áreas destinadas a culturas de verão.** São José dos Campos. 122 p. (INPE-7527-TDI/734). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/2000/11.06.10.12>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1912/rep/sid.inpe.br/deise/2000/11.06.10.12>. Acesso em: 10/06/2002.
- Nascimento, P.S.R. **Avaliação de técnicas de segmentação e classificação por regiões em imagens Landsat-TM visando o mapeamento de unidades de paisagem na Amazônia.** São José dos Campos. 120 p. (INPE-6391-TDI/607). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.

- Nascimento, P.S.R.; Batista, G.T.; Almeida Filho, R. Efeito de pré-processamento (ajuste) no desempenho da segmentação e classificação de imagens Landsat-TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, set. 1998. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1998. Sessão Poster. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/02.11.12.02>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/sid.inpe.br/deise/1999/02.11.12.02>>. Acesso em: 10/06/2002.
- Nascimento, P.S.R.; Almeida Filho, R. Utilização da técnica de segmentação em Imagens TM/Landsat visando otimizar a técnica de interpretação visual. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, abr. 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. Sessão de Artigos. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/01.27.09.30>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/sid.inpe.br/deise/1999/01.27.09.30>>. Acesso em: 10/06/2002.
- Novo, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípio e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1992. 308 p.
- Padilha, R.C.B.L.; Kurkdjian, M.L.N.O. Aplicação da técnica de segmentação em imagens HRV/SPOT para a discriminação dos vazios urbanos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, abr. 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. Sessão de Artigos. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/01.28.10.29>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/sid.inpe.br/deise/1999/01.28.10.29>>. Acesso em: 10/06/2002.
- Pereira, J.L.G.; Batista, G.T.; Roberts, D.A. Classificação da cobertura da terra na região amazônica através de classificação de regiões em imagens de proporção de componentes. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos-SP, set. 1998. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1998. Sessão Poster. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/02.11.10.38>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/sid.inpe.br/deise/1999/02.11.10.38>>. Acesso em: 10/06/2002.
- Pino, F.A. (org.) **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo**. São Paulo: IEA, CATI, SAA, 4 v., 1997.
- Pino, F. A. Estatísticas agrícolas para o século XXI. **Agricultura em São Paulo**. v. 46, n. 2, p. 71-105, 1999.
- Ponzoni, F.L.; Disperati, A. A. **Comportamento espectral da vegetação**. São José dos Campos: INPE, 1995. 37 p. (INPE-5619-PUD/065).
- Richards, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 3. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 340 p.

- Rodríguez, A.C.M. **Mapeamento multitemporal do uso e cobertura do solo do município de São Sebastião – SP, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM-Landsat e HRV-SPOT.** (Publicação para requisito de especialista em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, abr. 2000. 94p. (INPE-7510-PUD/39).
- Román-Roldán, R.; Gómez-Lopera, J.F.; Atae-Allah, C.; Martínez-Aroza, J.; Luque-Escamilla, L. A measure of quality for evaluating methods of segmentation and edge detection. **Pattern Recognition**, v. 34, n. 5, p. 969-980, 2001.
- Schoenmakers, R.P.H.M.; Wilkinson, G.G.; Schouten, T.E. Segmentation of remotely-sensed images: a re-definition for operational applications. In: 1991 International Geoscience and remote Sensing Symposium. IGARSS'91, Espoo, Finland, June 3-6, 1991. **Digest**. Piscataway: IEEE, 1991, v.2, p. 1087-1090.
- Schowengerdt, R.A. **Remote sensing, models and methods for image processing**, 2.ed. San Diego, USA: Academic Press, 1997, 522 p.
- Slater, P.N. **Remote sensing, optics and optical systems**. Reading: Addison-Wesley, 1980. 575p.
- Sousa, C. L. **Uso de imagens-índice e de imagens proporção para avaliar a quantidade de madeira em povoamentos de *pinus spp.*** São José dos Campos. 133 p. (INPE-6398-TDI/614). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/2000/12.22.10.12>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1912/rep/sid.inpe.br/deise/2000/12.22.10.12>. Acesso em: 10/06/2002.
- Terres, J.M.; Delince, J.; Van de Steene, M.; Hawkins, A. The use of remote sensing and GIS capabilities to support the reform of the common agricultural policy of the European Community. **Remote Sensing Reviews**, v. 12, 1995, p. 53-60.
- Venturieri, A. **Segmentação de imagens e lógica nebulosa para treinamento de uma rede neural artificial na caracterização do uso da terra na região de Tucuruí - PA.** São José dos Campos. 140 p. (INPE-6645-TDI/622). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.
- Woodcock, C.E.; Collins, J.B.; Gopal, S.; Jakabhazy, V.D.; Li, X.; Macomber S.; Ryherd, S.; Harward, V.J.; Levitan, J.; Wu, Y.; Warbington, R. Mapping forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.50, n.3, p. 240-254, Dec. 1994.

- Woodcock, C.; Harward, V.J.; Nested-hierarchical scene models and image segmentation. **International Journal of Remote Sensing**. London, v.13, n.16, p.3167-3187, 1992.
- Xu, Y.; Olman, V.; Uberbacher, C. A segmentation algorithm for noisy images: Design and evaluation. **Pattern Recognition Letters**, v. 19, n.13, p. 1213-1224, 1998.
- Yi, J.L.R.; Aulicino, L.C.M.; Shimabukuro, Y.E.; Rudorff, B.F.; Duarte, V.; Moreira, M.A.; Martini, P.R.; Souza, I.M. Segmentação de imagens-fração derivadas do sensor TM-Landsat para o mapeamento do uso do solo no município de Sapezal (MT). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos-SP, set. 1998. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1998. Sessão Poster. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/02.09.10.33>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.10.33>>. Acesso em: 10/06/2002.
- Zhang, Y.J; Gerbrands, J.J. Objective and quantitative segmentation evaluation and comparison. **Signal Processing**, v. 39, n. 1-2, p. 43-54, 1994.
- Zhang, Y.J. A survey on evaluation methods for image segmentation. **Pattern Recognition**, v. 29, n. 8, p. 1335-1346, 1996.
- Zhang, Y.J. Evaluation and comparison of different segmentation algorithms. **Pattern Recognition Letters**, v. 18, n.10, p. 963-974, 1997.
- Zucker, S.W. Region growing: childhood and adolescence. **Computer Graphics and Image Processing**, v.5, n.3, p. 382-399, 1976.



## APÊNDICE A

Resultados obtidos mediante o processo de avaliação das segmentações efetuadas sobre a área 2 através do índice IAVAS e imagem *referência de campo*.

TABELA A1 - AVALIAÇÃO COM BASE NA REFERÊNCIA DE CAMPO DE TODO O CONJUNTO DE DADOS DEFINIDOS PELO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO PARA A ÁREA 2

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Campo					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L <sup>(1)</sup> (km)	NP <sup>(1)</sup>	VA <sup>(1)</sup> (km <sup>4</sup> )	FC <sup>(1)</sup> (pixels)	C <sup>(1)</sup> (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	185,852	694	0,052	2090	44,746	5,535	6,752	0,004	2,484	0,000	14,775
5	15	120,674	282	0,050	1074	63,084	3,483	2,738	0,004	1,262	0,084	7,571
5	25	88,112	152	0,049	629	80,506	2,458	1,471	0,003	0,726	0,165	4,824
5	35	70,849	93	0,047	373	97,902	1,915	0,896	0,003	0,419	0,245	3,478
5	45	56,828	60	0,046	212	109,861	1,473	0,575	0,003	0,225	0,300	2,576
13	23	31,201	28	0,030	125	91,450	0,666	0,263	0,002	0,120	0,215	1,267
13	24	30,811	27	0,030	119	91,492	0,654	0,253	0,002	0,113	0,215	1,237
13	25	30,443	25	0,029	108	96,077	0,643	0,234	0,002	0,100	0,236	1,214
13	26	29,002	21	0,029	86	97,940	0,597	0,195	0,002	0,073	0,245	1,112
13	27	28,736	20	0,028	79	98,124	0,589	0,185	0,002	0,065	0,246	1,086
13	28	28,736	20	0,028	79	98,124	0,589	0,185	0,002	0,065	0,246	1,086
14	23	27,157	18	0,024	70	94,624	0,539	0,166	0,001	0,054	0,230	0,990
14	24	26,766	17	0,023	64	95,559	0,527	0,156	0,001	0,047	0,234	0,965
14	25	26,398	15	0,023	53	98,608	0,515	0,136	0,001	0,034	0,248	0,934
14	26	24,743	11	0,022	32	102,622	0,463	0,097	0,001	0,008	0,267	0,836
14	27	24,475	10	0,022	25	102,806	0,455	0,088	0,001	0,000	0,267	0,811
15	5	45,618	113	0,034	553	57,985	1,120	1,091	0,002	0,635	0,061	2,910
15	15	26,840	27	0,023	89	90,646	0,529	0,253	0,001	0,077	0,211	1,072
15	23	21,163	8	0,019	43	94,222	0,350	0,068	0,001	0,022	0,228	0,669
15	24	20,344	6	0,019	58	94,442	0,325	0,049	0,001	0,040	0,229	0,643
15	25	19,976	4	0,018	69	98,294	0,313	0,029	0,001	0,053	0,247	0,642
15	26	18,091	1	0,017	96	102,887	0,254	0,000	0,000	0,085	0,268	0,607
15	27	17,873	2	0,017	101	105,500	0,247	0,010	0,000	0,091	0,280	0,628
15	35	15,968	7	0,016	134	112,226	0,187	0,058	0,000	0,131	0,311	0,687
15	45	13,578	15	0,013	193	128,637	0,112	0,136	0,000	0,202	0,386	0,836
16	23	17,232	4	0,015	86	100,802	0,227	0,029	0,000	0,073	0,258	0,588
16	24	17,232	4	0,015	86	100,802	0,227	0,029	0,000	0,073	0,258	0,588
16	25	17,130	5	0,014	90	103,646	0,223	0,039	0,000	0,078	0,271	0,612
16	26	16,322	7	0,014	96	107,582	0,198	0,058	0,000	0,085	0,289	0,631
16	27	16,322	7	0,014	96	107,582	0,198	0,058	0,000	0,085	0,289	0,631
17	23	13,044	14	0,025	215	117,298	0,095	0,127	0,001	0,229	0,334	0,785
17	24	13,044	14	0,025	215	117,298	0,095	0,127	0,001	0,229	0,334	0,785
17	25	12,942	15	0,026	219	120,142	0,092	0,136	0,001	0,233	0,347	0,810
17	26	12,133	17	0,028	225	124,339	0,066	0,156	0,001	0,241	0,367	0,831
17	27	11,798	18	0,029	235	124,248	0,056	0,166	0,002	0,253	0,366	0,841

(Continua)

TABELA A1 – (Conclusão)

18	23	11,656	19	0,030	253	123,888	0,051	0,175	0,002	0,274	0,365	0,867
18	28	10,139	24	0,034	281	133,508	0,003	0,224	0,002	0,308	0,409	0,946
25	5	10,034	43	0,404	784	212,865	0,000	0,409	0,038	0,913	0,774	2,134
25	15	13,732	59	0,580	884	248,570	0,116	0,565	0,055	1,033	0,939	2,708
25	25	14,544	62	0,500	906	256,119	0,142	0,594	0,047	1,060	0,974	2,816
25	35	15,385	63	0,517	931	258,715	0,168	0,604	0,049	1,090	0,986	2,896
25	45	16,792	65	0,555	971	277,944	0,213	0,624	0,052	1,138	1,074	3,100
35	5	50,048	72	5,223	1865	364,255	1,260	0,692	0,501	2,213	1,472	6,138
35	15	51,700	79	7,638	1913	456,664	1,312	0,760	0,734	2,271	1,897	6,974
35	25	52,537	81	8,810	1936	527,916	1,338	0,779	0,847	2,298	2,225	7,488
35	35	53,401	82	9,543	1959	541,583	1,365	0,789	0,917	2,326	2,288	7,686
35	45	53,401	82	9,543	1959	541,583	1,365	0,789	0,917	2,326	2,288	7,686
45	5	65,269	84	17,204	2371	656,014	1,739	0,809	1,655	2,822	2,815	9,839
45	15	66,152	88	28,678	2392	762,661	1,767	0,848	2,759	2,847	3,307	11,527
45	25	66,567	89	34,444	2406	781,952	1,780	0,857	3,314	2,864	3,396	12,210
45	35	67,431	90	43,060	2429	803,637	1,807	0,867	4,143	2,891	3,495	13,204
45	45	67,431	90	43,060	2429	803,637	1,807	0,867	4,143	2,891	3,495	13,204
<b>Mínimo</b>		10,034	1	0,013	25	44,746						0,588
<b>Desvio padrão</b>		31,762	102,631	10,390	831,423	217,112						

<sup>(1)</sup> L = comprimento total de linhas; NP = número de polígonos; VA= variância das áreas dos polígonos; FC = faixa de coincidência; C = centro de massa mais próximo.



## APÊNDICE B

Resultados da avaliação das segmentações efetuadas no processo de unificação das áreas testes para o critério III.

TABELA B1 - IMGSEG1240 APLICADA SOBRE A ÁREA 2

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Campo					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L <sup>(1)</sup> (km)	NP <sup>(1)</sup>	VA <sup>(1)</sup> (km <sup>4</sup> )	FC <sup>(1)</sup> (pixels)	C <sup>(1)</sup> (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	185,852	694	0,052	2090	44,746	5,586	6,804	0,004	2,512	0,000	14,906
5	15	120,674	282	0,050	1074	63,084	3,515	2,759	0,004	1,286	0,085	7,648
5	25	88,112	152	0,049	629	80,506	2,481	1,483	0,004	0,748	0,166	4,881
5	35	70,849	93	0,047	373	97,902	1,932	0,903	0,003	0,439	0,247	3,525
5	45	56,828	60	0,046	212	109,861	1,487	0,579	0,003	0,245	0,302	2,617
12	40	27,542	9	0,027	9	122,181	0,556	0,079	0,001	0,000	0,359	0,996
13	23	31,201	28	0,030	125	91,450	0,673	0,265	0,002	0,140	0,217	1,296
13	24	30,811	27	0,030	119	91,492	0,660	0,255	0,002	0,133	0,217	1,267
13	25	30,443	25	0,029	108	96,077	0,648	0,236	0,002	0,120	0,238	1,243
13	26	29,002	21	0,029	86	97,940	0,603	0,196	0,002	0,093	0,247	1,140
13	27	28,736	20	0,028	79	98,124	0,594	0,187	0,002	0,085	0,248	1,115
13	28	28,736	20	0,028	79	98,124	0,594	0,187	0,002	0,085	0,248	1,115
14	23	27,157	18	0,024	70	94,624	0,544	0,167	0,001	0,074	0,232	1,017
14	24	26,766	17	0,023	64	95,559	0,532	0,157	0,001	0,066	0,236	0,992
14	25	26,398	15	0,023	53	98,608	0,520	0,137	0,001	0,053	0,250	0,962
14	26	24,743	11	0,022	32	102,622	0,467	0,098	0,001	0,028	0,269	0,863
14	27	24,475	10	0,022	25	102,806	0,459	0,088	0,001	0,019	0,270	0,837
15	5	45,618	113	0,034	553	57,985	1,131	1,100	0,002	0,657	0,061	2,950
15	15	26,840	27	0,023	89	90,646	0,534	0,255	0,001	0,097	0,213	1,100
15	23	21,163	8	0,019	43	94,222	0,354	0,069	0,001	0,041	0,230	0,694
15	24	20,344	6	0,019	58	94,442	0,328	0,049	0,001	0,059	0,231	0,667
15	25	19,976	4	0,018	69	98,294	0,316	0,029	0,001	0,072	0,249	0,667
15	26	18,091	1	0,017	96	102,887	0,256	0,000	0,000	0,105	0,270	0,631
15	27	17,873	2	0,017	101	105,500	0,249	0,010	0,000	0,111	0,282	0,652
15	35	15,968	7	0,016	134	112,226	0,189	0,059	0,000	0,151	0,313	0,712
15	45	13,578	15	0,013	193	128,637	0,113	0,137	0,000	0,222	0,389	0,862
16	23	17,232	4	0,015	86	100,802	0,229	0,029	0,000	0,093	0,260	0,612
16	24	17,232	4	0,015	86	100,802	0,229	0,029	0,000	0,093	0,260	0,612
16	25	17,130	5	0,014	90	103,646	0,225	0,039	0,000	0,098	0,273	0,636
16	26	16,322	7	0,014	96	107,582	0,200	0,059	0,000	0,105	0,292	0,656
16	27	16,322	7	0,014	96	107,582	0,200	0,059	0,000	0,105	0,292	0,656
17	23	13,044	14	0,025	215	117,298	0,096	0,128	0,001	0,249	0,337	0,810
17	24	13,044	14	0,025	215	117,298	0,096	0,128	0,001	0,249	0,337	0,810
17	25	12,942	15	0,026	219	120,142	0,092	0,137	0,001	0,254	0,350	0,835
17	26	12,133	17	0,028	225	124,339	0,067	0,157	0,001	0,261	0,370	0,855
17	27	11,798	18	0,029	235	124,248	0,056	0,167	0,002	0,273	0,369	0,866
18	23	11,656	19	0,030	253	123,888	0,052	0,177	0,002	0,295	0,367	0,892

(Continua)

TABELA B1 – (Conclusão)

18	28	10,139	24	0,034	281	133,508	0,003	0,226	0,002	0,328	0,412	0,972
25	5	10,034	43	0,404	784	212,865	0,000	0,412	0,038	0,936	0,781	2,166
25	15	13,732	59	0,580	884	248,570	0,117	0,569	0,055	1,056	0,946	2,745
25	25	14,544	62	0,500	906	256,119	0,143	0,599	0,047	1,083	0,981	2,854
25	35	15,385	63	0,517	931	258,715	0,170	0,609	0,049	1,113	0,993	2,934
25	45	16,792	65	0,555	971	277,944	0,215	0,628	0,053	1,161	1,083	3,140
35	5	50,048	72	5,223	1865	364,255	1,271	0,697	0,506	2,241	1,483	6,198
35	15	51,700	79	7,638	1913	456,664	1,324	0,766	0,740	2,299	1,912	7,040
35	25	52,537	81	8,810	1936	527,916	1,350	0,785	0,854	2,326	2,243	7,559
35	35	53,401	82	9,543	1959	541,583	1,378	0,795	0,925	2,354	2,307	7,759
35	45	53,401	82	9,543	1959	541,583	1,378	0,795	0,925	2,354	2,307	7,759
45	5	65,269	84	17,204	2371	656,014	1,755	0,815	1,668	2,851	2,838	9,927
45	15	66,152	88	28,678	2392	762,661	1,783	0,854	2,782	2,877	3,333	11,629
45	25	66,567	89	34,444	2406	781,952	1,796	0,864	3,341	2,894	3,423	12,318
45	35	67,431	90	43,060	2429	803,637	1,824	0,874	4,177	2,921	3,523	13,319
45	45	67,431	90	43,060	2429	803,637	1,824	0,874	4,177	2,921	3,523	13,319
<b>Mínimo</b>		10,034	1	0,013	9	44,746						0,612
<b>Desvio padrão</b>		31,476	101,851	10,305	828,365	215,399						

<sup>(1)</sup> L = comprimento total de linhas; NP = número de polígonos; VA= variância das áreas dos polígonos; FC = faixa de coincidência; C = centro de massa mais próximo.

## APÊNDICE C

Avaliação efetuada através do índice IAVAS, utilizando a *referência de campo* como imagem de referência, sobre a área 1 após a aplicação das ImgSeg1623 e ImgSeg1624 (critério III do processo de unificação das áreas testes).

TABELA C1 - IMGSEG1623 E IMGSEG1624 APLICADAS SOBRE A ÁREA Nº 1

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Campo					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L <sup>(1)</sup> (km)	NP <sup>(1)</sup>	VA <sup>(1)</sup> (km <sup>4</sup> )	FC <sup>(1)</sup> (pixels)	C <sup>(1)</sup> (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	236,674	810	0,153	2592	54,202	6,059	6,790	0,041	3,678	0,000	16,567
5	15	164,865	362	0,147	1429	76,036	4,200	3,025	0,040	2,026	0,167	9,457
5	25	124,029	202	0,142	879	85,840	3,142	1,681	0,038	1,244	0,242	6,348
5	35	104,511	140	0,142	544	101,454	2,637	1,160	0,038	0,769	0,362	4,965
5	45	89,106	99	0,133	354	118,708	2,238	0,815	0,035	0,499	0,494	4,081
11	36	38,010	37	0,057	57	110,505	0,915	0,294	0,013	0,077	0,431	1,730
11	37	37,559	36	0,056	53	111,417	0,904	0,286	0,013	0,071	0,438	1,711
11	38	36,092	32	0,053	23	110,279	0,866	0,252	0,012	0,028	0,429	1,588
11	39	36,092	32	0,053	23	110,279	0,866	0,252	0,012	0,028	0,429	1,588
11	40	35,664	31	0,053	6	109,322	0,855	0,244	0,012	0,004	0,422	1,536
12	36	32,084	25	0,044	26	113,845	0,762	0,193	0,009	0,033	0,457	1,454
12	37	31,131	23	0,042	14	113,847	0,737	0,176	0,008	0,016	0,457	1,395
12	38	30,678	22	0,041	9	113,425	0,726	0,168	0,008	0,009	0,454	1,364
12	39	30,611	20	0,039	4	113,005	0,724	0,151	0,008	0,001	0,450	1,334
12	40	30,073	19	0,039	7	113,005	0,710	0,143	0,008	0,006	0,450	1,316
13	33	34,731	31	0,048	95	111,662	0,830	0,244	0,010	0,131	0,440	1,655
13	36	31,734	21	0,039	22	119,837	0,753	0,160	0,008	0,027	0,503	1,450
13	37	30,781	19	0,036	10	120,217	0,728	0,143	0,007	0,010	0,506	1,393
13	38	29,933	16	0,034	14	119,021	0,706	0,118	0,006	0,016	0,496	1,342
13	39	29,933	16	0,034	14	119,021	0,706	0,118	0,006	0,016	0,496	1,342
13	40	29,933	16	0,034	14	119,021	0,706	0,118	0,006	0,016	0,496	1,342
14	36	28,479	14	0,022	3	131,347	0,669	0,101	0,003	0,000	0,591	1,363
14	37	27,726	11	0,019	26	132,280	0,649	0,076	0,002	0,033	0,598	1,357
14	38	27,272	10	0,030	31	131,847	0,637	0,067	0,005	0,040	0,595	1,344
14	39	27,272	10	0,018	31	131,847	0,637	0,067	0,001	0,040	0,595	1,340
14	40	26,734	9	0,016	34	132,445	0,623	0,059	0,001	0,044	0,599	1,326
15	5	58,246	178	0,093	742	90,274	1,439	1,479	0,023	1,050	0,276	4,268
15	15	35,649	57	0,042	218	116,217	0,854	0,462	0,008	0,305	0,475	2,105
15	25	26,519	25	0,013	70	133,454	0,618	0,193	0,000	0,095	0,607	1,513
15	35	19,672	5	0,015	92	153,058	0,441	0,025	0,001	0,126	0,757	1,350
15	36	19,600	4	0,017	93	153,058	0,439	0,017	0,001	0,128	0,757	1,342
15	37	19,146	3	0,019	97	154,262	0,427	0,008	0,002	0,134	0,766	1,337
15	38	18,692	2	0,020	102	153,830	0,415	0,000	0,002	0,141	0,763	1,321
15	39	18,692	2	0,020	102	153,830	0,415	0,000	0,002	0,141	0,763	1,321
15	40	18,692	2	0,020	102	153,830	0,415	0,000	0,002	0,141	0,763	1,321
15	45	15,800	5	0,032	159	163,724	0,340	0,025	0,006	0,222	0,839	1,431

(Continua)

TABELA C1 – (Conclusão)

16	23	21,105	25	0,101	18	132,401	0,478	0,193	0,026	0,021	0,599	1,317
16	24	19,288	21	0,111	52	135,394	0,431	0,160	0,029	0,070	0,622	1,311
18	33	4,058	13	0,330	372	177,769	0,036	0,092	0,093	0,524	0,946	1,693
18	38	2,654	18	0,368	406	177,245	0,000	0,134	0,105	0,573	0,942	1,754
25	5	8,522	5	0,992	665	173,476	0,152	0,025	0,288	0,940	0,913	2,319
25	15	14,049	28	1,443	801	201,399	0,295	0,218	0,421	1,134	1,127	3,195
25	25	15,028	31	1,531	1141	207,299	0,320	0,244	0,446	1,617	1,172	3,799
25	35	18,891	41	1,924	917	276,778	0,420	0,328	0,562	1,298	1,704	4,313
25	45	20,005	44	2,111	956	288,541	0,449	0,353	0,617	1,354	1,794	4,568
35	5	32,266	46	3,853	1365	291,443	0,767	0,370	1,129	1,935	1,817	6,017
35	15	34,119	52	4,617	1403	311,254	0,815	0,420	1,354	1,989	1,968	6,546
35	25	35,282	56	5,309	1424	337,149	0,845	0,454	1,558	2,019	2,167	7,041
35	35	37,315	60	6,261	1498	413,120	0,897	0,487	1,837	2,124	2,748	8,094
35	45	38,026	61	6,568	1520	438,264	0,916	0,496	1,928	2,155	2,941	8,435
45	5	47,410	62	8,410	1824	468,792	1,159	0,504	2,469	2,587	3,175	9,894
45	15	47,410	65	9,814	1844	502,140	1,159	0,529	2,882	2,615	3,430	10,616
45	25	48,975	66	10,399	1848	517,140	1,199	0,538	3,054	2,621	3,545	10,957
45	35	50,716	69	12,613	1915	549,431	1,244	0,563	3,706	2,716	3,792	12,021
45	45	51,655	70	13,556	1949	558,262	1,269	0,571	3,983	2,764	3,860	12,447
<b>Mínimo</b>		2,654	2	0,013	3	54,202						1,311
<b>Desvio padrão</b>		38,625	119,005	3,400	703,930	130,588						

<sup>(1)</sup> L = comprimento total de linhas; NP = número de polígonos; VA= variância das áreas dos polígonos; FC = faixa de coincidência; C = centro de massa mais próximo.

## APÊNDICE D

Resultados obtidos mediante o processo de avaliação das segmentações efetuadas sobre a área 1 através do índice IAVAS e imagem *referência de tela*.

TABELA D1 - AVALIAÇÃO COM BASE NA REFERÊNCIA DE TELA DE TODO O CONJUNTO DE DADOS DEFINIDOS PELO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO PARA A ÁREA 1

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Tela					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L <sup>(1)</sup> (km)	NP <sup>(1)</sup>	VA <sup>(1)</sup> (km <sup>4</sup> )	FC <sup>(1)</sup> (pixels)	C <sup>(1)</sup> (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	247,942	825	0,403	2539	40,455	5,625	6,493	0,120	4,180	0,000	16,418
5	15	176,133	377	0,397	1517	62,763	3,978	2,963	0,118	2,470	0,164	9,692
5	25	135,297	217	0,392	951	77,487	3,041	1,702	0,116	1,523	0,272	6,654
5	35	115,779	155	0,392	630	97,162	2,593	1,213	0,116	0,986	0,416	5,325
5	45	100,374	114	0,383	468	122,972	2,240	0,890	0,114	0,714	0,605	4,564
13	43	39,255	26	0,279	149	137,084	0,838	0,197	0,083	0,181	0,709	2,007
13	44	38,018	23	0,276	126	140,523	0,809	0,173	0,082	0,142	0,734	1,941
13	45	38,018	23	0,276	126	140,523	0,809	0,173	0,082	0,142	0,734	1,941
13	46	38,018	23	0,276	126	140,523	0,809	0,173	0,082	0,142	0,734	1,941
13	47	38,018	23	0,276	126	140,523	0,809	0,173	0,082	0,142	0,734	1,941
13	48	38,018	23	0,276	126	140,523	0,809	0,173	0,082	0,142	0,734	1,941
14	43	35,253	18	0,260	113	140,719	0,746	0,134	0,077	0,120	0,736	1,813
14	44	34,616	17	0,259	105	141,209	0,731	0,126	0,077	0,107	0,739	1,780
14	45	34,616	17	0,259	105	141,209	0,731	0,126	0,077	0,107	0,739	1,780
14	46	34,616	17	0,259	105	141,209	0,731	0,126	0,077	0,107	0,739	1,780
14	47	34,616	17	0,259	105	141,209	0,731	0,126	0,077	0,107	0,739	1,780
15	5	69,514	193	0,343	971	71,987	1,532	1,513	0,102	1,556	0,231	4,934
15	15	46,917	72	0,292	452	90,847	1,013	0,559	0,086	0,688	0,370	2,717
15	25	37,787	40	0,263	291	105,572	0,804	0,307	0,078	0,418	0,478	2,085
15	35	30,940	20	0,235	133	134,183	0,647	0,150	0,069	0,154	0,688	1,707
15	43	27,068	10	0,218	65	149,079	0,558	0,071	0,064	0,040	0,797	1,530
15	44	27,068	10	0,218	65	149,079	0,558	0,071	0,064	0,040	0,797	1,530
15	45	27,068	10	0,218	65	149,079	0,558	0,071	0,064	0,040	0,797	1,530
15	46	26,574	9	0,217	55	150,631	0,547	0,063	0,064	0,023	0,808	1,505
15	47	26,574	9	0,217	55	150,631	0,547	0,063	0,064	0,023	0,808	1,505
16	43	19,060	2	0,022	41	146,997	0,374	0,008	0,006	0,000	0,782	1,169
16	44	18,688	1	0,017	41	146,997	0,366	0,000	0,004	0,000	0,782	1,152
16	45	18,688	1	0,017	41	146,997	0,366	0,000	0,004	0,000	0,782	1,152
16	46	17,278	1	0,003	71	156,462	0,333	0,000	0,000	0,050	0,851	1,235
16	47	17,278	1	0,003	71	156,462	0,333	0,000	0,000	0,050	0,851	1,235
17	43	14,612	2	0,106	148	158,542	0,272	0,008	0,031	0,179	0,866	1,356
17	44	14,612	2	0,106	148	158,542	0,272	0,008	0,031	0,179	0,866	1,356
17	45	14,612	2	0,106	148	158,542	0,272	0,008	0,031	0,179	0,866	1,356
17	46	13,197	4	0,124	178	167,854	0,240	0,024	0,036	0,229	0,935	1,464
17	47	13,197	4	0,124	178	167,854	0,240	0,024	0,036	0,229	0,935	1,464

(Continua)

TABELA D1 – (Conclusão)

18	43	13,045	6	0,138	196	164,283	0,236	0,039	0,040	0,259	0,908	1,484
18	48	11,965	8	0,157	234	173,332	0,212	0,055	0,046	0,323	0,975	1,611
25	5	2,746	10	0,742	402	135,524	0,000	0,071	0,221	0,604	0,697	1,594
25	15	2,780	13	1,193	529	161,505	0,001	0,095	0,357	0,817	0,888	2,157
25	25	3,760	16	1,281	831	170,910	0,023	0,118	0,383	1,322	0,957	2,803
25	35	7,623	26	1,674	653	259,323	0,112	0,197	0,501	1,024	1,606	3,439
25	45	8,737	29	1,861	692	275,966	0,137	0,221	0,557	1,089	1,728	3,732
35	5	20,998	31	3,603	1060	274,329	0,419	0,236	1,079	1,705	1,716	5,155
35	15	22,851	37	4,367	1098	295,859	0,461	0,284	1,308	1,769	1,874	5,695
35	25	24,014	41	5,059	1123	321,217	0,488	0,315	1,515	1,810	2,060	6,188
35	35	26,047	45	6,011	1196	403,936	0,535	0,347	1,800	1,933	2,667	7,281
35	45	26,758	46	6,318	1218	434,602	0,551	0,355	1,893	1,969	2,892	7,659
45	5	36,142	47	8,160	1537	494,246	0,766	0,362	2,444	2,503	3,329	9,405
45	15	36,142	50	9,564	1557	533,202	0,766	0,386	2,865	2,537	3,615	10,169
45	25	37,707	51	10,149	1558	544,602	0,802	0,394	3,040	2,538	3,698	10,473
45	35	39,447	54	12,363	1625	583,033	0,842	0,418	3,704	2,650	3,980	11,595
45	45	40,387	55	13,305	1659	590,428	0,864	0,425	3,987	2,707	4,035	12,018
<b>Mínimo</b>		2,746	1	0,003	41	40,455						1,152
<b>Desvio padrão</b>		43,587	126,911	3,337	597,646	136,311						

<sup>(1)</sup> L = comprimento total de linhas; NP = número de polígonos; VA= variância das áreas dos polígonos; FC = faixa de coincidência; C = centro de massa mais próximo.

## APÊNDICE E

Resultados obtidos mediante o processo de avaliação das segmentações efetuadas sobre a área 2 através do índice IAVAS e imagem *referência de tela*.

TABELA E1- AVALIAÇÃO COM BASE NA REFERÊNCIA DE TELA DE TODO O CONJUNTO DE DADOS DEFINIDOS PELO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO PARA A ÁREA 2

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Tela					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L <sup>(1)</sup> (km)	NP <sup>(1)</sup>	VA <sup>(1)</sup> (km <sup>4</sup> )	FC <sup>(1)</sup> (pixels)	C <sup>(1)</sup> (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	191,627	711	0,081	1985	42,815	5,877	6,714	0,008	2,604	0,000	15,202
5	15	126,448	299	0,079	1025	59,761	3,832	2,818	0,007	1,343	0,077	8,078
5	25	93,887	169	0,078	621	77,217	2,811	1,589	0,007	0,813	0,156	5,376
5	35	76,624	110	0,076	377	93,975	2,270	1,031	0,007	0,492	0,232	4,032
5	45	62,603	77	0,075	244	106,621	1,830	0,719	0,007	0,318	0,290	3,163
13	33	32,424	31	0,056	137	92,348	0,883	0,284	0,005	0,177	0,225	1,575
13	34	32,141	30	0,056	126	94,053	0,874	0,274	0,005	0,163	0,233	1,550
13	35	32,141	30	0,056	126	94,053	0,874	0,274	0,005	0,163	0,233	1,550
13	36	31,564	28	0,056	107	101,649	0,856	0,255	0,005	0,138	0,267	1,522
13	37	30,740	27	0,055	101	102,590	0,831	0,246	0,005	0,130	0,272	1,483
13	38	30,262	25	0,054	88	105,352	0,816	0,227	0,005	0,113	0,284	1,445
14	33	28,660	22	0,050	120	98,260	0,765	0,199	0,005	0,155	0,252	1,375
14	34	28,367	21	0,049	109	98,879	0,756	0,189	0,005	0,140	0,255	1,345
14	35	28,367	21	0,049	109	98,879	0,756	0,189	0,005	0,140	0,255	1,345
14	36	27,159	17	0,048	63	110,155	0,718	0,151	0,004	0,080	0,306	1,260
14	37	26,348	16	0,047	55	110,155	0,693	0,142	0,004	0,070	0,306	1,215
15	5	51,393	130	0,063	652	51,060	1,478	1,220	0,006	0,853	0,037	3,595
15	15	32,615	44	0,052	201	82,815	0,889	0,407	0,005	0,261	0,182	1,744
15	25	25,751	21	0,047	48	90,873	0,674	0,189	0,004	0,060	0,218	1,146
15	33	22,201	12	0,045	2	94,738	0,563	0,104	0,004	0,000	0,236	0,907
15	34	21,840	11	0,045	12	96,686	0,551	0,095	0,004	0,013	0,245	0,908
15	35	21,743	10	0,044	15	101,565	0,548	0,085	0,004	0,017	0,267	0,922
15	36	20,615	6	0,043	59	113,623	0,513	0,047	0,004	0,075	0,322	0,961
15	37	20,615	6	0,043	59	113,623	0,513	0,047	0,004	0,075	0,322	0,961
15	45	19,353	2	0,042	75	115,918	0,473	0,009	0,004	0,096	0,332	0,915
16	33	20,260	5	0,041	22	96,729	0,502	0,038	0,004	0,026	0,245	0,815
16	34	19,899	4	0,040	36	98,677	0,491	0,028	0,004	0,045	0,254	0,821
16	35	19,817	3	0,040	39	103,556	0,488	0,019	0,004	0,049	0,276	0,835
16	36	19,171	1	0,039	60	113,032	0,468	0,000	0,004	0,076	0,319	0,866
16	37	19,171	1	0,039	60	113,032	0,468	0,000	0,004	0,076	0,319	0,866
17	33	16,765	4	0,003	112	110,649	0,392	0,028	0,000	0,144	0,308	0,873
17	34	16,603	5	0,004	117	110,889	0,387	0,038	0,000	0,151	0,309	0,885
17	35	16,603	5	0,004	117	110,889	0,387	0,038	0,000	0,151	0,309	0,885
17	36	16,281	6	0,005	129	114,607	0,377	0,047	0,000	0,167	0,326	0,918
17	37	16,281	6	0,005	129	114,607	0,377	0,047	0,000	0,167	0,326	0,918

(Continua)

TABELA E1- (Conclusão)

18	33	15,685	8	0,007	148	119,196	0,358	0,066	0,000	0,192	0,347	0,964
18	38	14,580	11	0,010	183	125,834	0,324	0,095	0,001	0,238	0,377	1,034
25	5	4,259	26	0,375	598	192,820	0,000	0,236	0,036	0,783	0,682	1,737
25	15	7,957	42	0,551	696	231,133	0,116	0,388	0,053	0,911	0,856	2,324
25	25	8,769	45	0,471	713	238,348	0,141	0,416	0,045	0,933	0,889	2,425
25	35	9,610	46	0,488	738	241,517	0,168	0,426	0,047	0,966	0,903	2,509
25	45	11,017	48	0,526	778	259,500	0,212	0,444	0,050	1,019	0,985	2,710
35	5	44,273	55	5,194	1662	357,015	1,255	0,511	0,500	2,179	1,428	5,873
35	15	45,925	62	7,609	1710	453,889	1,307	0,577	0,733	2,242	1,868	6,727
35	25	46,762	64	8,781	1728	520,369	1,333	0,596	0,846	2,266	2,170	7,211
35	35	47,626	65	9,514	1751	537,054	1,360	0,605	0,917	2,296	2,246	7,424
35	45	47,626	65	9,514	1751	537,054	1,360	0,605	0,917	2,296	2,246	7,424
45	5	59,494	67	17,175	2165	681,653	1,732	0,624	1,655	2,840	2,903	9,754
45	15	60,377	71	28,649	2186	771,252	1,760	0,662	2,761	2,867	3,310	11,360
45	25	60,792	72	34,416	2200	794,801	1,773	0,671	3,316	2,886	3,417	12,064
45	35	61,656	73	43,031	2223	814,519	1,800	0,681	4,146	2,916	3,507	13,050
45	45	61,656	73	43,031	2223	814,519	1,800	0,681	4,146	2,916	3,507	13,050
<b>Mínimo</b>		4,259	1	0,003	2	42,815						0,815
<b>Desvio padrão</b>		31,884	105,751	10,377	761,652	220,053						

<sup>(1)</sup> L = comprimento total de linhas; NP = número de polígonos; VA= variância das áreas dos polígonos; FC = faixa de coincidência; C = centro de massa mais próximo.



## APÊNDICE F

Resultados obtidos mediante o processo de unificação das áreas teste 1 e 2 e imagem referência de tela.

TABELA F1- IMGSEG1644 E IMGSEG1645 APLICADOS SOBRE A ÁREA 2

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Tela					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L <sup>(1)</sup> (km)	NP <sup>(1)</sup>	VA <sup>(1)</sup> (km <sup>4</sup> )	FC <sup>(1)</sup> (pixels)	C <sup>(1)</sup> (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	191,627	711	0,081	1985	42,815	5,952	6,814	0,008	2,632	0,000	15,406
5	15	126,448	299	0,079	1025	59,761	3,882	2,860	0,008	1,358	0,078	8,185
5	25	93,887	169	0,078	621	77,217	2,847	1,612	0,007	0,821	0,159	5,447
5	35	76,624	110	0,076	377	93,975	2,299	1,046	0,007	0,498	0,236	4,086
5	45	62,603	77	0,075	244	106,621	1,853	0,729	0,007	0,321	0,294	3,206
13	33	32,424	31	0,056	137	92,348	0,895	0,288	0,005	0,179	0,229	1,596
13	34	32,141	30	0,056	126	94,053	0,886	0,278	0,005	0,165	0,236	1,570
13	35	32,141	30	0,056	126	94,053	0,886	0,278	0,005	0,165	0,236	1,570
13	36	31,564	28	0,056	107	101,649	0,867	0,259	0,005	0,139	0,272	1,543
13	37	30,740	27	0,055	101	102,590	0,841	0,250	0,005	0,131	0,276	1,503
13	38	30,262	25	0,054	88	105,352	0,826	0,230	0,005	0,114	0,289	1,464
14	33	28,660	22	0,050	120	98,260	0,775	0,202	0,005	0,157	0,256	1,394
14	34	28,367	21	0,049	109	98,879	0,766	0,192	0,005	0,142	0,259	1,363
14	35	28,367	21	0,049	109	98,879	0,766	0,192	0,005	0,142	0,259	1,363
14	36	27,159	17	0,048	63	110,155	0,728	0,154	0,004	0,081	0,311	1,277
14	37	26,348	16	0,047	55	110,155	0,702	0,144	0,004	0,070	0,311	1,231
15	5	51,393	130	0,063	652	51,060	1,497	1,238	0,006	0,863	0,038	3,642
15	15	32,615	44	0,052	201	82,815	0,901	0,413	0,005	0,264	0,185	1,767
15	25	25,751	21	0,047	48	90,873	0,683	0,192	0,004	0,061	0,222	1,162
15	33	22,201	12	0,045	2	94,738	0,570	0,106	0,004	0,000	0,240	0,919
15	34	21,840	11	0,045	12	96,686	0,559	0,096	0,004	0,013	0,249	0,921
15	35	21,743	10	0,044	15	101,565	0,555	0,086	0,004	0,017	0,271	0,934
15	36	20,615	6	0,043	59	113,623	0,520	0,048	0,004	0,076	0,327	0,974
15	37	20,615	6	0,043	59	113,623	0,520	0,048	0,004	0,076	0,327	0,974
15	45	19,353	2	0,042	75	115,918	0,480	0,010	0,004	0,097	0,337	0,927
16	33	20,260	5	0,041	22	96,729	0,508	0,038	0,004	0,027	0,249	0,826
16	34	19,899	4	0,040	36	98,677	0,497	0,029	0,004	0,045	0,258	0,832
16	35	19,817	3	0,040	39	103,556	0,494	0,019	0,004	0,049	0,280	0,847
16	36	19,171	1	0,039	60	113,032	0,474	0,000	0,004	0,077	0,324	0,878
16	37	19,171	1	0,039	60	113,032	0,474	0,000	0,004	0,077	0,324	0,878
16	44	17,973	3	0,038	79	115,241	0,436	0,019	0,003	0,102	0,334	0,895
16	45	17,973	3	0,038	79	115,241	0,436	0,019	0,003	0,102	0,334	0,895
17	33	16,765	4	0,003	112	110,649	0,397	0,029	0,000	0,146	0,313	0,885
17	34	16,603	5	0,004	117	110,889	0,392	0,038	0,000	0,153	0,314	0,897
17	35	16,603	5	0,004	117	110,889	0,392	0,038	0,000	0,153	0,314	0,897
17	36	16,281	6	0,005	129	114,607	0,382	0,048	0,000	0,169	0,331	0,930
17	37	16,281	6	0,005	129	114,607	0,382	0,048	0,000	0,169	0,331	0,930

(Continua)

TABELA F1- (Conclusão)

18	33	15,685	8	0,007	148	119,196	0,363	0,067	0,000	0,194	0,353	0,977
18	38	14,580	11	0,010	183	125,834	0,328	0,096	0,001	0,240	0,383	1,048
25	5	4,259	26	0,375	598	192,820	0,000	0,240	0,037	0,791	0,692	1,760
25	15	7,957	42	0,551	696	231,133	0,117	0,394	0,054	0,921	0,869	2,355
25	25	8,769	45	0,471	713	238,348	0,143	0,422	0,046	0,944	0,902	2,457
25	35	9,610	46	0,488	738	241,517	0,170	0,432	0,048	0,977	0,917	2,543
25	45	11,017	48	0,526	778	259,500	0,215	0,451	0,051	1,030	1,000	2,747
35	5	44,273	55	5,194	1662	357,015	1,271	0,518	0,509	2,203	1,450	5,951
35	15	45,925	62	7,609	1710	453,889	1,324	0,585	0,745	2,267	1,897	6,818
35	25	46,762	64	8,781	1728	520,369	1,350	0,605	0,860	2,291	2,204	7,309
35	35	47,626	65	9,514	1751	537,054	1,378	0,614	0,932	2,321	2,281	7,526
35	45	47,626	65	9,514	1751	537,054	1,378	0,614	0,932	2,321	2,281	7,526
45	5	59,494	67	17,175	2165	681,653	1,755	0,633	1,682	2,871	2,948	9,889
45	15	60,377	71	28,649	2186	771,252	1,783	0,672	2,806	2,898	3,362	11,521
45	25	60,792	72	34,416	2200	794,801	1,796	0,681	3,371	2,917	3,470	12,236
45	35	61,656	73	43,031	2223	814,519	1,823	0,691	4,215	2,948	3,561	13,239
45	45	61,656	73	43,031	2223	814,519	1,823	0,691	4,215	2,948	3,561	13,239
<b>Mínimo</b>		4,259	1	0,003	2	42,815						0,826
<b>Desvio padrão</b>		31,478	104,191	10,208	753,518	216,680						

<sup>(1)</sup> L = comprimento total de linhas; NP = número de polígonos; VA= variância das áreas dos polígonos; FC = faixa de coincidência; C = centro de massa mais próximo.

A análise dos limiaries da ImgSeg1633 sobre a área 1.

TABELA F2 - IMGSEG1633 APLICADA SOBRE A ÁREA 1

Limiares		Diferença em Relação à Referência de Tela					Valores Normalizados					IAVAS
Similitude	Área	L <sup>(1)</sup> (km)	NP <sup>(1)</sup>	VA <sup>(1)</sup> (km <sup>4</sup> )	FC <sup>(1)</sup> (pixels)	C <sup>(1)</sup> (m)	L	NP	VA	FC	C	
5	5	247,942	825	0,403	2539	40,455	5,674	6,550	0,121	4,194	0,000	16,538
5	15	176,133	377	0,397	1517	62,763	4,012	2,989	0,119	2,478	0,165	9,763
5	25	135,297	217	0,392	951	77,487	3,067	1,717	0,117	1,528	0,274	6,703
5	35	115,779	155	0,392	630	97,162	2,615	1,224	0,117	0,989	0,419	5,365
5	45	100,374	114	0,383	468	122,972	2,259	0,898	0,115	0,717	0,610	4,598
13	43	39,255	26	0,279	149	137,084	0,845	0,199	0,083	0,181	0,714	2,022
13	44	38,018	23	0,276	126	140,523	0,816	0,175	0,082	0,143	0,739	1,955
13	45	38,018	23	0,276	126	140,523	0,816	0,175	0,082	0,143	0,739	1,955
13	46	38,018	23	0,276	126	140,523	0,816	0,175	0,082	0,143	0,739	1,955
13	47	38,018	23	0,276	126	140,523	0,816	0,175	0,082	0,143	0,739	1,955
13	48	38,018	23	0,276	126	140,523	0,816	0,175	0,082	0,143	0,739	1,955
14	43	35,253	18	0,260	113	140,719	0,752	0,135	0,078	0,121	0,741	1,826
14	44	34,616	17	0,259	105	141,209	0,737	0,127	0,077	0,107	0,744	1,794
14	45	34,616	17	0,259	105	141,209	0,737	0,127	0,077	0,107	0,744	1,794
14	46	34,616	17	0,259	105	141,209	0,737	0,127	0,077	0,107	0,744	1,794
14	47	34,616	17	0,259	105	141,209	0,737	0,127	0,077	0,107	0,744	1,794
15	5	69,514	193	0,343	971	71,987	1,545	1,526	0,102	1,561	0,233	4,968
15	15	46,917	72	0,292	452	90,847	1,022	0,564	0,087	0,690	0,372	2,736
15	25	37,787	40	0,263	291	105,572	0,811	0,310	0,078	0,420	0,481	2,100
15	35	30,940	20	0,235	133	134,183	0,652	0,151	0,070	0,154	0,692	1,720
15	43	27,068	10	0,218	65	149,079	0,563	0,072	0,065	0,040	0,802	1,542
15	44	27,068	10	0,218	65	149,079	0,563	0,072	0,065	0,040	0,802	1,542
15	45	27,068	10	0,218	65	149,079	0,563	0,072	0,065	0,040	0,802	1,542
15	46	26,574	9	0,217	55	150,631	0,551	0,064	0,064	0,024	0,814	1,517
15	47	26,574	9	0,217	55	150,631	0,551	0,064	0,064	0,024	0,814	1,517
16	33	23,484	16	0,079	48	128,076	0,480	0,119	0,023	0,012	0,647	1,281
16	43	19,060	2	0,022	41	146,997	0,377	0,008	0,006	0,000	0,787	1,178
16	44	18,688	1	0,017	41	146,997	0,369	0,000	0,004	0,000	0,787	1,160
16	45	18,688	1	0,017	41	146,997	0,369	0,000	0,004	0,000	0,787	1,160
16	46	17,278	1	0,003	71	156,462	0,336	0,000	0,000	0,050	0,857	1,244
16	47	17,278	1	0,003	71	156,462	0,336	0,000	0,000	0,050	0,857	1,244
17	43	14,612	2	0,106	148	158,542	0,275	0,008	0,031	0,180	0,872	1,366
17	44	14,612	2	0,106	148	158,542	0,275	0,008	0,031	0,180	0,872	1,366
17	45	14,612	2	0,106	148	158,542	0,275	0,008	0,031	0,180	0,872	1,366
17	46	13,197	4	0,124	178	167,854	0,242	0,024	0,037	0,230	0,941	1,473
17	47	13,197	4	0,124	178	167,854	0,242	0,024	0,037	0,230	0,941	1,473
18	43	13,045	6	0,138	196	164,283	0,238	0,040	0,041	0,260	0,915	1,494
18	48	11,965	8	0,157	234	173,332	0,213	0,056	0,046	0,324	0,982	1,621
25	5	2,746	10	0,742	402	135,524	0,000	0,072	0,223	0,606	0,702	1,603
25	15	2,780	13	1,193	529	161,505	0,001	0,095	0,359	0,819	0,894	2,169
25	25	3,760	16	1,281	831	170,910	0,023	0,119	0,386	1,326	0,964	2,818
25	35	7,623	26	1,674	653	259,323	0,113	0,199	0,504	1,027	1,617	3,460

(Continua)

TABELA F2 – (Conclusão)

25	45	8,737	29	1,861	692	275,966	0,139	0,223	0,561	1,093	1,740	3,755
35	5	20,998	31	3,603	1060	274,329	0,422	0,238	1,087	1,711	1,728	5,186
35	15	22,851	37	4,367	1098	295,859	0,465	0,286	1,317	1,775	1,887	5,730
35	25	24,014	41	5,059	1123	321,217	0,492	0,318	1,526	1,817	2,074	6,227
35	35	26,047	45	6,011	1196	403,936	0,539	0,350	1,813	1,939	2,685	7,326
35	45	26,758	46	6,318	1218	434,602	0,556	0,358	1,906	1,976	2,912	7,707
45	5	36,142	47	8,160	1537	494,246	0,773	0,366	2,462	2,512	3,352	9,464
45	15	36,142	50	9,564	1557	533,202	0,773	0,390	2,886	2,545	3,640	10,233
45	25	37,707	51	10,149	1558	544,602	0,809	0,397	3,062	2,547	3,724	10,540
45	35	39,447	54	12,363	1625	583,033	0,849	0,421	3,731	2,659	4,008	11,669
45	45	40,387	55	13,305	1659	590,428	0,871	0,429	4,015	2,716	4,063	12,095
<b>Mínimo</b>		2,746	1	0,003	41	40,455						1,160
<b>Desvio padrão</b>		43,217	125,800	3,313	595,634	135,371						

<sup>(1)</sup> L = comprimento total de linhas; NP = número de polígonos; VA= variância das áreas dos polígonos; FC = faixa de coincidência; C = centro de massa mais próximo.

## APÊNDICE G

Valores empregados na análise da influência dos limiares de similaridade e área sobre os parâmetros de discrepância que compõem o índice IAVAS utilizando a referência de tela (valores obtidos sobre a área 1).

TABELA G1 - VALORES DOS PARÂMETROS DAS IMAGENS SEGMENTADAS

Limiares		Comprimento Total de Linhas (km)	Número de Polígonos	Variância da Área (km <sup>4</sup> )	Centro de Massa (m)	Faixa de Coincidência (pixels)
Similaridade	Área					
5	5	341,016	892	0,006	40,455	6005
5	15	269,208	444	0,011	62,763	4983
5	25	228,371	284	0,016	77,487	4417
5	35	208,853	222	0,016	97,162	4096
5	45	193,448	181	0,025	122,972	3934
15	5	162,588	260	0,065	71,987	4437
15	15	139,991	139	0,117	90,847	3918
15	25	130,861	107	0,145	105,572	3757
15	35	124,014	87	0,173	134,183	3599
15	45	120,142	77	0,190	149,079	3531
25	5	95,820	77	1,150	135,524	3064
25	15	90,294	54	1,602	161,505	2937
25	25	89,314	51	1,689	170,910	2635
25	35	85,451	41	2,082	259,323	2813
25	45	84,337	38	2,269	275,966	2774
35	5	72,077	36	4,011	274,329	2406
35	15	70,223	30	4,775	295,859	2368
35	25	69,060	26	5,467	321,217	2343
35	35	67,027	22	6,419	403,936	2270
35	45	66,316	21	6,726	434,602	2248
45	5	56,933	20	8,568	494,246	1929
45	15	56,933	17	9,972	533,202	1909
45	25	55,368	16	10,557	544,602	1908
45	35	53,627	13	12,771	583,033	1841
45	45	52,687	12	13,714	590,428	1807



## APÊNDICE H

TABELA H1 – LIMIARES DE SIMILARIDADE E ÁREA E RESPECTIVOS ÍNDICES IAVAS PARA AS 184 SEGMENTAÇÕES DEFINIDAS NA ÁREA 1 COM BASE NA IMAGEM REFERÊNCIA DE TELA

Limiares		IAVAS	Limiares		IAVAS	Limiares		IAVAS	Limiares		IAVAS
Similaridade	Área		Similaridade	Área		Similaridade	Área		Similaridade	Área	
1	1	34,382	13	25	2,311	15	45	1,708	19	32	1,611
1	25	6,406	13	29	2,196	15	46	1,695	19	35	1,782
1	32	5,890	13	32	2,161	15	47	1,695	19	38	1,824
1	38	5,076	13	33	2,102	15	48	1,683	19	41	1,818
1	44	4,605	13	35	2,067	15	50	1,575	19	44	1,931
1	50	4,227	13	36	2,045	16	23	1,684	19	50	2,099
5	5	9,263	13	37	2,004	16	24	1,603	20	50	2,369
5	15	6,061	13	38	1,942	16	25	1,558	21	50	2,505
5	25	4,421	13	39	1,942	16	29	1,485	22	25	1,647
5	35	3,684	13	40	1,942	16	32	1,398	22	29	1,832
5	45	3,363	13	41	1,917	16	33	1,400	22	32	2,106
5	50	2,539	13	42	1,884	16	34	1,365	22	35	2,118
7	25	3,782	13	43	1,955	16	35	1,371	22	38	2,111
7	32	3,313	13	44	1,923	16	36	1,387	22	50	2,664
7	35	3,111	13	45	1,923	16	37	1,368	23	50	2,719
7	38	2,961	13	46	1,923	16	38	1,368	24	50	2,968
7	41	2,873	13	47	1,923	16	39	1,386	25	5	2,054
7	44	2,821	13	48	1,923	16	40	1,386	25	12	2,523
7	50	2,685	13	50	1,843	16	41	1,380	25	15	2,682
10	32	2,359	14	35	2,004	16	43	1,457	25	25	3,349
10	35	2,280	14	36	1,973	16	44	1,449	25	29	3,514
10	36	2,250	14	37	1,923	16	45	1,449	25	32	3,871
10	37	2,210	14	38	1,904	16	46	1,563	25	35	4,037
10	38	2,223	14	39	1,899	16	47	1,563	25	38	4,074
10	39	2,214	14	40	1,876	16	48	1,574	25	44	4,343
10	40	2,191	14	41	1,821	16	50	1,694	25	45	4,343
10	41	2,176	14	42	1,798	17	34	1,508	25	50	5,029
10	44	2,184	14	43	1,853	17	35	1,536	30	50	7,027
10	47	2,158	14	44	1,833	17	36	1,571	35	5	5,786
10	50	2,111	14	45	1,833	17	37	1,571	35	15	6,361
11	35	2,115	14	46	1,833	17	38	1,581	35	25	6,909
11	36	2,094	14	47	1,833	17	39	1,576	35	35	8,162
11	37	2,078	14	50	1,768	17	43	1,722	35	45	8,600
11	38	2,021	15	5	3,487	17	44	1,722	35	50	8,904
11	39	2,018	15	15	2,248	17	45	1,722	37	12	7,949
11	40	1,972	15	25	1,918	17	46	1,849	37	25	8,654
11	41	1,947	15	34	1,753	17	47	1,849	37	38	10,955
12	35	2,010	15	35	1,766	17	48	1,856	40	50	12,949
12	36	1,989	15	36	1,761	17	50	1,860	45	5	10,502
12	37	1,944	15	37	1,748	18	33	1,592	45	15	11,410
12	38	1,923	15	38	1,724	18	38	1,724	45	25	11,752
12	39	1,887	15	39	1,724	18	43	1,855	45	35	13,060
12	40	1,876	15	40	1,724	18	48	1,998	45	45	13,548
12	41	1,862	15	41	1,649	18	50	1,974	45	50	13,788
12	42	1,866	15	43	1,708	19	25	1,442	50	1	10,536
13	12	3,128	15	44	1,708	19	29	1,502	50	50	14,514

**Menor IAVAS = 1,365**





## APÊNDICE I

TABELA II – LIMIARES DE SIMILARIDADE E ÁREA E RESPECTIVOS ÍNDICES IAVAS PARA AS 206 SEGMENTAÇÕES DEFINIDAS NA ÁREA 2 COM BASE NA IMAGEM REFERÊNCIA DE CAMPO

Limiares			Limiares			Limiares			Limiares		
Similaridade	Área	IAVAS	Similaridade	Área	IAVAS	Similaridade	Área	IAVAS	Similaridade	Área	IAVAS
1	1	33,363	14	23	1,167	16	36	1,200	19	44	1,687
1	50	3,026	14	24	1,153	16	37	1,200	19	50	1,726
5	5	8,771	14	25	1,142	16	44	1,214	20	31	1,624
5	15	5,065	14	26	1,090	16	45	1,214	20	32	1,624
5	25	3,524	14	27	1,073	16	50	1,283	20	33	1,624
5	35	2,748	14	28	1,073	17	10	0,981	20	34	1,721
5	45	2,206	14	29	1,073	17	11	0,977	20	35	1,721
5	50	2,099	14	30	1,073	17	12	0,991	20	50	1,676
7	7	6,050	14	33	1,027	17	13	0,990	21	3	1,009
7	19	3,405	14	34	1,028	17	14	1,035	21	6	1,236
7	32	2,491	14	35	1,028	17	23	1,184	21	9	1,349
7	44	2,009	14	36	1,139	17	24	1,184	21	12	1,398
10	50	1,331	14	37	1,140	17	25	1,206	21	50	2,054
11	21	1,873	14	50	1,297	17	26	1,226	22	50	2,606
11	22	1,839	15	3	2,996	17	27	1,235	23	50	2,963
11	23	1,783	15	5	2,261	17	31	1,261	24	3	1,907
11	24	1,761	15	6	2,075	17	32	1,261	24	6	2,273
11	25	1,732	15	9	1,609	17	33	1,284	24	9	2,437
11	26	1,670	15	12	1,360	17	34	1,292	24	12	2,474
11	27	1,647	15	15	1,184	17	35	1,292	24	50	3,206
11	28	1,619	15	21	0,974	17	36	1,322	25	5	2,586
11	29	1,619	15	22	0,972	17	37	1,322	25	15	3,073
11	30	1,607	15	23	0,971	17	50	1,424	25	25	3,163
12	21	1,676	15	24	0,971	18	3	1,550	25	35	3,236
12	22	1,634	15	25	0,996	18	6	1,095	25	45	3,444
12	23	1,583	15	26	1,012	18	9	1,015	25	50	3,245
12	24	1,544	15	27	1,032	18	10	1,051	30	50	4,661
12	25	1,536	15	28	1,032	18	11	1,043	32	7	5,753
12	26	1,480	15	29	1,032	18	12	1,066	32	19	6,445
12	27	1,451	15	30	1,032	18	13	1,064	32	32	6,625
12	28	1,432	15	33	1,035	18	14	1,113	32	44	7,060
12	29	1,432	15	34	1,060	18	23	1,257	35	5	6,509
12	30	1,432	15	35	1,087	18	28	1,331	35	15	7,452
12	40	1,228	15	36	1,216	18	31	1,331	35	25	8,059
13	21	1,394	15	37	1,216	18	32	1,331	35	35	8,280
13	22	1,385	15	45	1,231	18	33	1,354	35	45	8,280
13	23	1,339	15	50	1,150	18	34	1,394	35	50	8,081
13	24	1,319	16	10	1,239	18	35	1,394	40	50	9,977
13	25	1,318	16	11	1,175	18	38	1,424	44	7	10,949
13	26	1,257	16	12	1,099	18	50	1,493	44	19	12,745
13	27	1,240	16	13	1,076	19	7	1,071	44	32	14,780
13	28	1,240	16	14	1,058	19	10	1,179	44	44	14,780
13	29	1,240	16	23	0,974	19	11	1,181	45	5	10,702
13	30	1,227	16	24	0,974	19	12	1,247	45	15	12,745
13	33	1,132	16	25	0,996	19	13	1,235	45	25	13,574
13	34	1,112	16	26	1,014	19	14	1,317	45	35	14,780
13	35	1,112	16	27	1,014	19	19	1,378	45	45	14,780
13	36	1,099	16	31	1,031	19	31	1,547	45	50	14,581
13	37	1,075	16	32	1,031	19	32	1,547	50	1	10,390
13	38	1,086	16	33	1,077	19	33	1,590	50	50	14,581
14	21	1,219	16	34	1,101	19	34	1,654	<b>Menor IAVAS = 0,971</b>		
14	22	1,193	16	35	1,129	19	35	1,654			

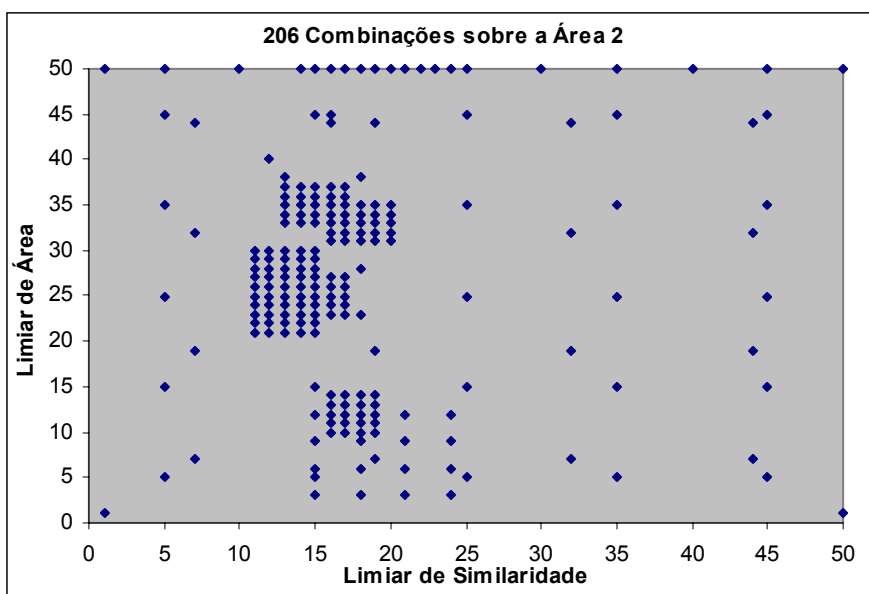


Fig. I.1 – 206 combinações entre os limiares de similaridade e área definidos sobre a área 2.

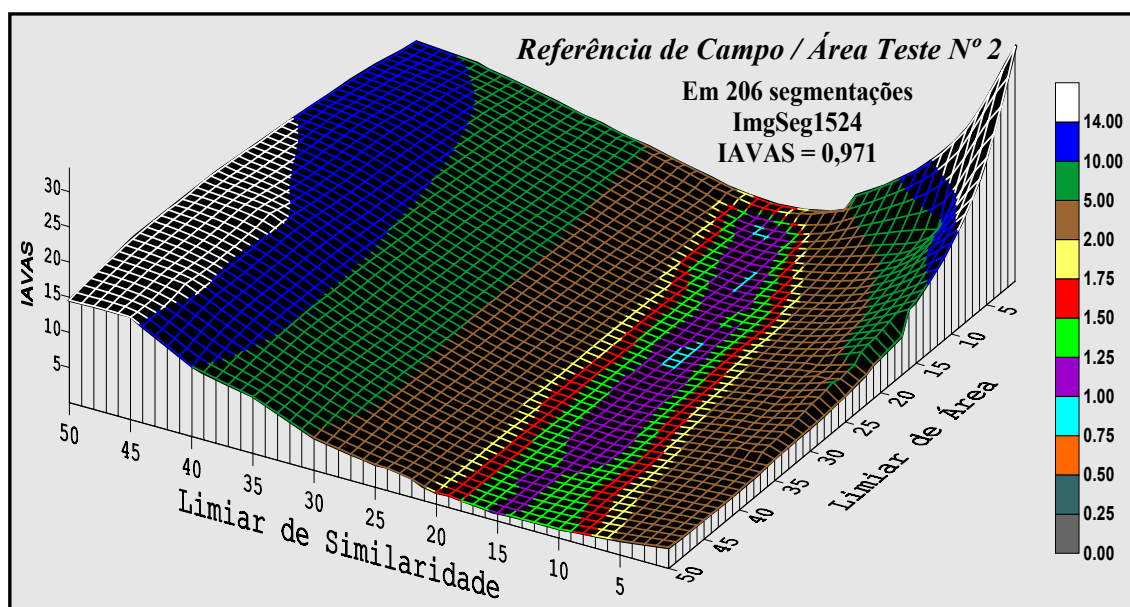


Fig. I.2 – Comportamento do índice IAVAS (das 206 combinações) com base na referência de campo para a área 2.