

Avaliação quantitativa da segmentação por crescimento de regiões para a discriminação de tipologias da Floresta Ombrófila Mista em imagens Ikonos

Fernando Luís Dlugosz¹
Nelson Carlos Rosot²
Mariângela Ceschim Iurk³

^{1,2,3} Universidade Federal do Paraná – UFPR
80210-170 – Curitiba-PR, Brasil

f.dlugosz@gmail.com; ncrosot@floresta.ufpr.br; mciurk@yahoo.com.br

Abstract. This paper describes the application of an index, called IAVAS_{mod}, for the quantitative assessment of segmentation algorithms for growth of regions in high resolution image, with the purpose to discriminate forest typologies gifts in remainder of the Forest with Araucaria, considering the Index for Segmentation Assessment (IAVAS) as a basis. The composing variables for the new index were acquired by applying the discrepancy empirical method, which depends on an existing reference image. Over this imagery, also called reference map, numeric comparisons (in percent) are carried out in order to compare distinct threshold values used by the segmentation algorithm. The following parameters were used to compose the new index: number of polygons, distance between centroids, differences in area, differences in perimeter and, coinciding buffers around polygons. Quantitative assessments are more robust than qualitative ones for they eliminate the analyst's subjectiveness in rejecting or accepting threshold values.

Palavras-chave: segmentation, quantitative assessment, IAVAS index, Ikonos, segmentação, avaliação quantitativa, índice IAVAS, Ikonos.

1. Introdução

A Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária, como também é conhecida, sofreu ao longo dos anos um processo de exploração predatório de suas espécies e foi cedendo espaço às atividades antrópicas. Considerando-se o quadro preocupante do desmatamento das Florestas com Araucária torna-se necessário o conhecimento da situação atual, bem como o monitoramento da vegetação presente nos remanescentes.

A utilização de dados de Sensoriamento Remoto vem possibilitando avaliar e monitorar a preservação de áreas de vegetação natural, além de apresentar grande utilidade na análise do uso e cobertura do solo, gerando informações que fornecem subsídios necessários ao planejamento e administração da ocupação ordenada e racional do meio físico. Com os produtos resultantes dos sensores óticos, as linhas de pesquisa que avaliam estas imagens, voltadas para o campo florestal, têm abordado operações de segmentação, baseada em algoritmos de crescimento de regiões.

Segundo Venturieri e Santos (1998), o processo de segmentação consiste em agrupar *pixels* com características similares em termos tonais e texturais, formando regiões homogêneas. Desta forma, a imagem é particionada em um conjunto de regiões correspondentes às feições da superfície terrestre, que irão servir de base para a análise e cartografia temática.

Por meio do processo de segmentação é possível obter-se, de maneira rápida, a discriminação e delimitação de fragmentos. Adicionalmente, os polígonos gerados pela segmentação – convertidos para vetor – podem ser usados como amostras de treinamento em futuras classificações digitais e, ainda, em classificações visuais por meio de simples atribuição de classes aos polígonos.

A qualidade de resultados da segmentação, segundo Zhang (1996), pode ser avaliada por dois métodos. O primeiro – definido como método analítico – permite examinar e avaliar

diretamente os algoritmos através da análise de seus princípios, suposições, propriedades, exigências, utilidade, complexidade, etc, não dependendo de experimentos e podendo ser aplicado sem que o algoritmo esteja completamente implementado. A aplicação deste método é independente da natureza ou objetivo da segmentação. O segundo é o método empírico que permite examinar e avaliar o algoritmo de forma indireta, através da aplicação de imagens-teste e medição da qualidade do resultado da segmentação. Este método pode ser dividido em dois tipos: de discrepância e de qualidade.

Conforme Lucca (1998) e Oliveira (2002), os métodos empíricos de qualidade permitem examinar e avaliar o desempenho de algoritmos julgando simplesmente a qualidade da segmentação final obtida, sem nenhum conhecimento *a priori* da segmentação verdadeira (referência). Forma e uniformidade dos segmentos, além da diferença espectral entre as regiões extraídas pelo algoritmo, são algumas medidas de qualidade analisadas neste método.

Os métodos empíricos de discrepância permitem avaliar o desempenho de um algoritmo através da comparação da segmentação de uma imagem produzida pelo mesmo com uma segmentação de referência, sendo que ambas as segmentações são obtidas a partir do mesmo dado de entrada. No caso em que o dado de entrada é uma imagem real, a segmentação de referência é geralmente obtida através de uma segmentação manual da imagem de entrada baseada na interpretação visual. No caso de imagens sintéticas, a segmentação de referência é obtida diretamente do seu processo de geração (Lucca, 1998).

O presente artigo descreve a avaliação quantitativa de resultados obtidos com a segmentação por crescimento de regiões em imagem de alta resolução, com a finalidade de discriminar tipologias florestais presentes em remanescente da Floresta com Araucária. Para a avaliação foi desenvolvido um índice, denominado IAVAS_{mod}, tomando-se por base o Índice para Avaliação de Segmentação (IAVAS) descrito por Oliveira (2002). O novo índice proposto apresenta alterações na forma de aquisição dos valores de seus parâmetros componentes – obtidos em porcentagem – que permite aplicá-los diretamente na equação do índice sem a necessidade de efetuar outra padronização para eliminar a influência causada pelas distintas escalas de cada parâmetro envolvido.

2. Materiais e Métodos

A imagem utilizada refere-se a Reserva Florestal da Embrapa, localizada no município de Caçador, entre as coordenadas geográficas 26° 50' e 26° 55' de latitude sul e 50° 05' e 51° 00' de longitude oeste, região centro-oeste do Estado de Santa Catarina. O imóvel compreende uma área 1.157,48 hectares, apresentando cobertura vegetal constituída por um dos últimos remanescentes da Floresta Ombrófila Mista (FOM), onde se destacam algumas das espécies constantes da lista oficial de espécies em extinção do IBAMA (Portaria nº 37-N, de 03.04.1992), objeto de proibição de corte pela Resolução CONAMA 278, de 24.05.2001, ou seja, *Araucaria angustifolia* (pinheiro-do-paraná) e *Ocotea porosa* (imbuia), que convivem com inúmeras espécies de menor porte e com rica fauna associada, algumas também sendo consideradas como vulneráveis ou ameaçadas de extinção devido à grande fragmentação que vêm sofrendo as áreas deste ecossistema.

As variáveis componentes do índice IAVAS_{mod} tiveram seus valores adquiridos com a aplicação do método empírico de discrepância. A aplicação deste método é dependente da existência de uma imagem de referência que represente a identificação adequada dos alvos presentes na cena, levando-se em consideração os limites de resolução espacial e espectral. As diferenças apresentadas entre as segmentações e a imagem de referência (mapa-referência) são comparadas numericamente pelas medidas de discrepância dos parâmetros analisados.

O mapa-referência ("verdade de campo") foi desenvolvido por meio de interpretação visual na composição colorida *Near Infrared, Green, Blue* (NGB), reconhecendo e identificando as tipologias florestais através dos parâmetros cor, tonalidade e textura.

As quatro bandas multi-espectrais da sub-cena Ikonos foram submetidas ao processo de segmentação, utilizando o *software* SPRING (INPE), que possui o algoritmo de segmentação por crescimento de regiões. O algoritmo apresenta como critérios de análise a similaridade e a área. A similaridade é o limiar que corresponde à proximidade radiométrica entre *pixels*, ou seja, o valor da distância euclidiana mínima entre as médias das regiões, abaixo do qual duas regiões são consideradas similares e, então, agrupadas. O limiar de área é o número mínimo de pixels para que uma região seja individualizada, sendo, portanto, o tamanho mínimo que cada segmento deve possuir na operação de segmentação.

Ao todo foram testados 20 pares de limiares de similaridade e área. A avaliação dos resultados das segmentações foi efetuada por amostragem sistemática, exceto para o parâmetro "número de polígonos", que é obtido diretamente. O emprego do método de amostragem proporciona uma redução de tempo e custo e torna mais dinâmico o processo de análise das segmentações.

Foram selecionados no mapa-referência e submetidos à análise os polígonos que se encontravam sob os pontos de cruzamento das linhas de um *grid*. Conforme a metodologia, o intervalo entre pontos do *grid* deve ser estabelecido de forma a atender a uma amostragem mínima de 10% do total de polígonos contidos no mapa-referência.

A avaliação quantitativa dos resultados da segmentação envolve os seguintes parâmetros: número de polígonos; distância entre centróides; diferença em área; diferença em perímetro e; faixa de coincidência. Sua descrição, bem como os passos para obtenção de seus valores de análise, estão apresentados nos itens seguintes.

1) Número de polígonos

Este parâmetro mede a discrepância entre a imagem segmentada e a de referência em relação à quantidade de objetos extraídos pelo algoritmo segmentador, permitindo, assim, uma verificação da ocorrência de segmentação excessiva, ou insuficiente.

Foi proposto para o estudo aceitar os resultados da operação de segmentação que geraram um número de segmentos até três vezes maior que o número de polígonos existente no mapa-referência. Este valor de três vezes foi definido após considerar as diferenças existentes entre o processo automático e o visual, onde, por exemplo, áreas com sombra são agrupadas pelo intérprete às regiões adjacentes, enquanto que, no processo automático, estas são definidas como outra região. Um bom conhecimento de campo e do objetivo do estudo torna-se importante para auxiliar na definição do número máximo de segmentos que será aceito.

De acordo com a metodologia, os valores de limiares que atenderam ao número máximo e mínimo pré-estabelecidos foram submetidos à análise dos demais parâmetros. A avaliação do parâmetro "número de polígonos" permitiu uma pré-identificação dos prováveis melhores limiares, não sendo, portanto, incluídos os valores desse parâmetro na equação do IAVAS_{mod}.

2) Distância entre centróides

Este parâmetro calcula a distância euclidiana entre os centróides de cada polígono do mapa-referência com cada polígono da imagem segmentada. O cálculo da distância euclidiana é dado pela seguinte fórmula:

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

em que:

i = número do polígono analisado da imagem referência;

j = número do polígono analisado da segmentação;

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

x'_j e y'_j = coordenadas de x e y do ponto j .

Como a identificação dos polígonos equivalentes entre as imagens avaliadas é uma tarefa que apresenta grande dificuldade, optou-se pelo cálculo da distância euclidiana entre os polígonos do mapa-referência – selecionados pela amostragem – e cada um dos “ n ” polígonos gerados pelo valor de limiar sob avaliação.

Depois de calculada a distância das “ n ” combinações, os polígonos da segmentação que apresentaram a menor distância em relação a cada polígono i do mapa-referência foram aceitos como equivalentes e, posteriormente, submetidos às análises dos demais parâmetros. Em seguida calculou-se a diferença percentual entre os valores do conjunto selecionado:

$$V_i = \left(\frac{d_i - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \right) \times 100$$

em que:

V_i = diferença percentual entre as menores distâncias selecionadas;

d_i = valor da distância euclidiana de cada combinação selecionada do conjunto;

d_{\min} = menor valor de distância euclidiana do conjunto selecionado;

d_{\max} = maior valor de distância euclidiana do conjunto selecionado.

Após a obtenção dos percentuais que uma dada distância entre centróides representa em relação à amplitude de distâncias observadas para todo o conjunto, foi calculada a média aritmética das menores diferenças percentuais selecionadas, passando este valor a representar o parâmetro usado na comparação entre as segmentações. A média aritmética é dada por:

$$\bar{d}_e = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

em que:

\bar{d}_e = média da diferença percentual de distâncias euclidianas do conjunto analisado;

V_i = valores da menor diferença percentual de distâncias euclidianas de cada polígono analisado;

n = número de polígonos do mapa-referência selecionados pela amostragem.

Quanto menor o valor apresentado por \bar{d}_e mais semelhantes estão os polígonos da segmentação em relação aos do mapa-referência.

3) Diferença em área

Para calcular este parâmetro foi necessário obter o valor de área de cada polígono-referência, assim como de cada polígono da segmentação selecionado no cálculo do

parâmetro anteriormente descrito. As diferenças percentuais de área tiveram seus valores calculados de forma modular, utilizando-se a equação:

$$DA_i = \left| \frac{AREF_i - ASEG_i}{AREF_i} \right| \times 100$$

em que:

DA_i = diferença percentual de área entre cada polígono selecionado da segmentação e do mapa-referência;

$AREF_i$ = área de cada polígono de referência analisado;

$ASEG_i$ = área de cada polígono da segmentação equivalente ao polígono de referência analisado.

Para o conhecimento do desempenho geral em cada valor de limiares da segmentação foi calculada a média aritmética do conjunto analisado por meio da equação:

$$\overline{DA} = \frac{\sum_{i=1}^n DA_i}{n}$$

em que:

\overline{DA} = média da diferença percentual de área entre a segmentação e a referência;

DA_i = diferenças percentuais de área do conjunto analisado;

n = número de polígonos do mapa-referência selecionados pela amostragem.

Quanto menor o valor de \overline{DA} apresentado pela segmentação, mais similares foram as áreas dos polígonos da segmentação e do mapa-referência.

4) Diferença em perímetro

Os cálculos deste parâmetro foram efetuados de forma similar ao cálculo do parâmetro “Diferença em área”, somente substituindo-se a variável “área” pela variável “perímetro”, de acordo com as seguintes equações:

$$DP_i = \left| \frac{PREF_i - PSEG_i}{PREF_i} \right| \times 100$$

em que:

DP_i = diferença percentual entre o perímetro de cada polígono selecionado da segmentação e do mapa-referência;

$PREF_i$ = perímetro de cada polígono de referência analisado;

$PSEG_i$ = perímetro de cada polígono da segmentação equivalente ao polígono de referência analisado.

$$\overline{DP} = \frac{\sum_{i=1}^n DP_i}{n}$$

em que:

\overline{DP} = média das diferenças percentuais de perímetro entre a segmentação e o mapa-referência;

DP_i = diferenças percentuais de perímetro do conjunto analisado;

n = número de polígonos do mapa-referência selecionados pela amostragem.

Da mesma forma, a segmentação que apresentou o menor valor de \overline{DP} , em princípio, foi a mais adequada.

5) Faixa de coincidência

Os parâmetros de discrepância que avaliam separadamente o tamanho e a posição dos polígonos não asseguram uma total coerência nos resultados, pois podem ocorrer situações em que os segmentos estão rotacionados em seu centro de massa. Nesse caso os valores calculados para tais parâmetros são considerados adequados, mas apresentam discrepâncias se avaliados quanto à forma de suas bordas.

O uso do parâmetro “Faixa de coincidência” permite avaliar espacialmente a relação entre os polígonos da segmentação e do mapa-referência, analisando de maneira indireta, também, os parâmetros referentes ao tamanho e à posição. Isto se torna possível com a quantificação dos *pixels* da imagem segmentada que coincidem com os *pixels* da imagem de referência.

Durante a aquisição dos dados de referência por interpretação visual, o fator escala de trabalho pode ocasionar alguns erros, devido às limitações que o analista tem em definir o exato limite dos polígonos, podendo, assim, estar incluindo ou excluindo alguns *pixels*.

Para que este fator não exerça influência na análise do resultado da segmentação, Oliveira (2002) recomenda a criação de uma faixa de tolerância de espessura igual a duas vezes à resolução da imagem utilizada.

A partir do valor da somatória e do número total de *pixels* apresentados pelos polígonos selecionados de cada segmentação, calculou-se o percentual de *pixels* espacialmente incorretos por meio da equação:

$$FC = 100 - \left(\frac{np_{coinc}}{np_{seg}} \times 100 \right)$$

em que:

FC = percentual de *pixels* espacialmente incorretos;

np_{coinc} = número de *pixels* coincidentes entre a segmentação e o mapa-referência;

np_{seg} = número total de *pixels* dos polígonos da segmentação avaliada.

A segmentação que apresentou o menor valor para FC indica que menos *pixels* foram incorretamente associados a uma região e, conseqüentemente, mais semelhantes foram as regiões formadas em relação aos polígonos do mapa-referência.

O cálculo do IAVAS_{mod} é a somatória de valores dos parâmetros de discrepância obtidos para cada resultado do processo de segmentação, sendo dado pela equação:

$$IAVAS_{\text{mod}} = \overline{d}_e + \overline{DA} + \overline{DP} + FC$$

Considerou-se como a melhor segmentação aquela que apresentou o menor valor no cálculo do índice $IAVAS_{\text{mod}}$. Pode-se dizer que valores elevados são associados a grandes erros da segmentação, evidenciando um desempenho ineficiente do algoritmo segmentador.

3. Resultados e Discussão

Para eliminar dúvidas e corrigir possíveis erros de interpretação, o mapa referência foi submetido a uma verificação de campo. As classes de mapeamento contempladas pela amostragem foram: predominância de Araucária (23,5% dos polígonos amostrados); baixa densidade de Araucária (13,7%); canelas (19,6%); vassourão (9,8%); bracatinga/canelaguiacá (21,6%); taquara (7,8%); e agricultura/fruticultura (3,9%). Os polígonos amostrados correspondem a 11,9% dos polígonos do mapa-referência e representam 733,55 ha, que equivalem a 61,4% da área de estudo.

De posse dos valores dos parâmetros, a etapa seguinte consistiu em calcular o índice de avaliação da segmentação para os sete pares de limiães selecionados que atenderam o critério inicial de avaliação referente ao número de polígonos. A síntese dos resultados finais de parâmetros de discrepância e o valor resultante do cálculo do índice $IAVAS_{\text{mod}}$ para as combinações de limiães testadas são apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Síntese dos resultados da análise quantitativa da segmentação

Par de Limiães	Difer. em Área (%)	Difer. em Perímetro (%)	Distância Euclidiana (%)	Faixa de Coincidência (%)	$IAVAS_{\text{mod}}$	Ranking
30 - 2000	100,32	83,99	13,67	74,87	272,85	2
35 - 1200	89,10	75,38	14,19	72,92	251,59	1
35 - 2000	112,22	91,16	35,25	77,77	316,40	7
40 - 1200	113,80	92,29	30,99	74,38	311,45	5
40 - 2000	118,34	87,53	33,58	70,35	309,80	6
45 - 1200	89,24	83,92	29,69	76,88	279,73	3
60 - 600	93,84	77,49	39,40	83,74	294,47	4

De acordo com os resultados obtidos com o método empírico de discrepância, a segmentação realizada com o par de limiães 35 para similaridade e 1.200 para área foi a que apresentou o menor valor no índice $IAVAS_{\text{mod}}$, sendo considerada quantitativamente a segmentação mais coerente para a discriminação de tipologias florestais conforme o mapa-referência. Encontram-se na **Figura 1** parte da imagem Ikonos (composição NGB) sobreposta pelos segmentos gerados pelo par de limiães definido como o melhor.

A diferença entre o primeiro e o segundo lugar no ranking foi mais fortemente influenciada pelo parâmetro “diferença em área” dos polígonos. Para as demais situações este parâmetro de discrepância continuou sendo o que apresentou maior diferença percentual em relação ao mapa-referência. Oliveira (2002) comenta que, em alguns casos, pequenas variações entre os limiães 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.

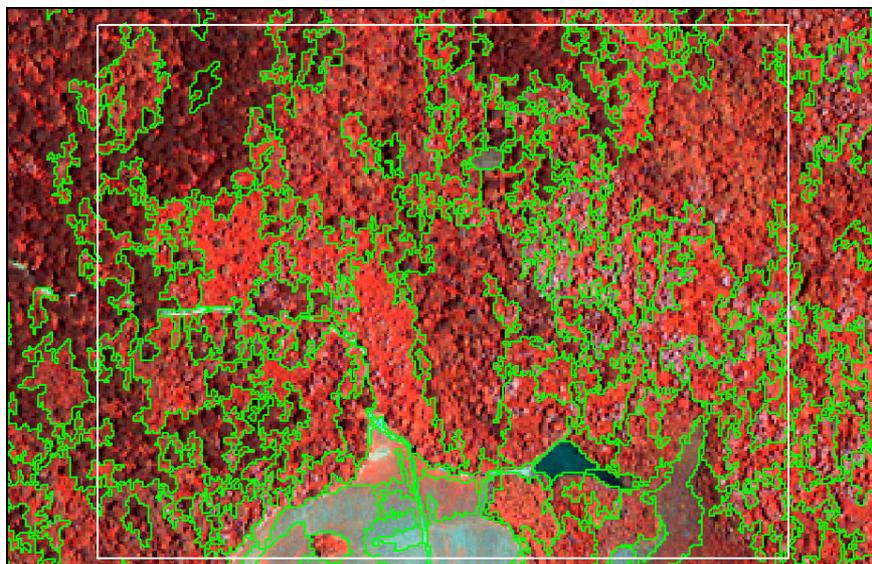


Figura 1 – Resultado da segmentação com os limiares 35 e 1.200 para similaridade área, respectivamente, e composição Ikonos NGB ao fundo.

4. Conclusões e Recomendações

O presente trabalho procurou demonstrar que, apesar de ser mais complexa em sua aplicação, uma avaliação quantitativa é superior à qualitativa, por proporcionar resultados mais consistentes na análise de algoritmos de segmentação.

O índice $IAVAS_{mod}$ para a avaliação da segmentação de imagens permitiu comparações quantitativas para diferentes valores de limiares, eliminando, com isto, a subjetividade de uma avaliação qualitativa na definição do melhor resultado.

A partir de valores de limiares que já se apresentem satisfatórios, recomenda-se testar intervalos menores para os parâmetros do algoritmo como tentativa de alcançar valores mais acurados para o processo. Desta forma, se conseguirá, também, elevar a acuracidade dos resultados da classificação da imagem, visto que são dois processos fortemente relacionados considerando que os segmentos podem ser classificados a partir de características comuns de todos os *pixels* que os constituem.

5. Referências Bibliográficas

Lucca, E.V.D. **Avaliação e comparação de algoritmos de segmentação de imagens de radar de abertura sintética**. São José dos Campos. 1998. 207 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1912/rep/sid.inpe.br/deise/2000/04.27.16.28>>. Acesso em: 30 nov. 2004.

Oliveira, J.C. **Índice para avaliação de segmentação (IAVAS): uma aplicação em agricultura**. São José dos Campos, 2002. 160 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1912/rep/sid.inpe.br/marciana/2003/03.05.15.25>> Acesso em: 25 set. 2004.

Venturieri, A.; Santos, J.R. dos. Técnicas de Classificação de Imagens para Análise de Cobertura Vegetal. In: ASSAD, E.D. e SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas**. 2.ed., rev. e ampl.. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. Capítulo 18, p. 351-371.

Zhang, Y.J. A survey on evaluation methods for image segmentation. **Pattern Recognition**, v.29, n.8, 1996, p. 1335-1346.