



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Técnicas de geoprocessamento para avaliação da segmentação de imagens de sensores orbitais

Bruno Montibeller

Monografia da disciplina de
Introdução ao Geoprocessamento
(SER-300), ministrada pelo Dr.
Antônio Miguel Vieira Monteiro.

INPE
São José dos Campos
2015

1 Introdução

A estimativa da área plantada em tempo hábil e com baixo custo representa um dos desafios do setor agrícola, sendo que estas informações são essenciais e estratégicas devido à importância econômica dessa atividade em países como o Brasil (POZZI et al, 2013; ORTIZ et al, 1997).

Na literatura existem várias metodologias para estimar a área de cultivo de forma eficiente e de baixo custo, dentre elas a classificação automática, a qual é realizada utilizando os produtos de algoritmos de segmentação de imagens de satélite (WITHARANA et al, 2014). Entretanto os resultados de tais metodologias, em algumas ocasiões, não são satisfatórios, devido à dificuldade de determinar parâmetros de segmentação, tais como o fator de escala apropriado para a delimitação de talhões agrícolas.

Os talhões agrícolas do território brasileiro apresentam ampla dispersão espacial (EPIPHANIO et al, 2002), devido à variabilidade do tamanho das propriedades (estrutura fundiária), ocasionando assim uma dificuldade na obtenção de um fator de escala apropriado. As dimensões e formas dos talhões também estão relacionadas com o tipo de cultura, com a tradição agrícola, hidrografia e principalmente com a fragmentação ocasionada pelo relevo da região.

Um dos métodos de avaliação de segmentação é o Índice para Avaliação de Segmentação (IAVAS). Este índice é determinado a partir da análise da discrepância de parâmetros de uma imagem segmentada e de uma imagem de referência (referência de campo) (OLIVEIRA, 2002). Tais discrepâncias são inferidas por meio de técnicas de geoprocessamento, como a inferência geográfica e operações sobre geo-objetos e geo-campos.

As ferramentas de geoprocessamento, conhecidos por sistemas de informação geográfica (SIG), permitem a integração de dados geográficos de diversas fontes (CAMARA et al, 2000). Neste contexto, técnicas de geoprocessamento podem ser aplicadas para a avaliação dos resultados obtidos pelos algoritmos de segmentação, contribuindo assim para a determinação de procedimentos mais eficazes no levantamento de informações do setor agrícola.

1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar, por meio de técnicas de geoprocessamento, o fator de escala mais adequado para a delimitação de talhões agrícolas utilizando o IAVAS.

1.2 Objetivos específicos

- Comparar diferentes fatores de escala de segmentação de áreas agrícolas;
- Identificar o melhor fator de escala para a agricultura tradicionalmente plantada no Sul do estado de SP e norte do estado do PR;
- Gerar um mapa de erro entre os dados obtidos pelo IAVAS e dados do censo do IBGE (2006), em relação ao tamanho médio dos talhões por município.

2. Fundamentação teórica

2.1 Índice para Avaliação de Segmentação (IAVAS)

O Índice para Avaliação de Segmentação (IAVAS) é definido com base na análise de cinco parâmetros de discrepância entre o resultado da segmentação da imagem e uma imagem referência (referência de campo) (OLIVEIRA, 2002; SCHULTZ, 2016).

Os cinco parâmetros de discrepância são número de polígonos, comprimento total de linhas, variância das áreas dos polígonos, centro de massa mais próximo, faixa de coincidência. Como os parâmetros possuem escalas e unidades distintas, é necessária uma normalização entre os resultados encontrados para que o índice apresente uma forma uniforme. De acordo com Oliveira (2002) os cinco parâmetros consistem em:

- *Número de polígonos*: este parâmetro tem por objetivo determinar a discrepância entre a imagem segmentada e a de referência no que tange a quantidade de polígonos obtidos pelo algoritmo segmentador. Se o número de polígonos obtidos pela segmentação for superior ao da imagem de referência, significa que houve uma segmentação excessiva e insuficiente caso o contrário ocorra.

- *Comprimento total de linhas*: tem por objetivo obter as diferenças entre o comprimento total de linhas do resultado da segmentação e da imagem de referência. Essa diferença ocorre porque o algoritmo segmentador utiliza o *píxel* como unidade de análise, sendo os polígonos delimitados com base nessa unidade, mas como os talhões agrícolas geralmente apresentam uma geometria definida (ex: retangular, circular) e o intérprete, no momento da elaboração da imagem de referência, utiliza as extremidades dessa geometria para delimitar a área, uma diferença considerável ocorre entre o comprimento das linhas do resultado da segmentação e a imagem de referência.
- *Variância das áreas dos polígonos*: Esse parâmetro tem por objetivo determinar a variação das áreas dos polígonos entre a imagem de referência e o resultado da segmentação, uma vez que os talhões agrícolas apresentam diferença em relação à sua área.
- *Centro de massa mais próximo*: Esse parâmetro tem por objetivo determinar a coesão espacial entre as imagens, por meio dos centros de massa dos polígonos. Como estes são representados por coordenadas é possível estimar a distância euclidiana entre os centros de massas dos polígonos das duas imagens.
- *Faixa de coincidência*: Este parâmetro tem por objetivo avaliar a sobreposição espacial dos segmentos que entre os polígonos da imagem de referência e da imagem segmentada. Essa sobreposição foi calculada com base nas áreas das intersecções entre as duas imagens, uma vez que o vetor correspondente a referência de campo precisou ser transformada em matriz.

Os elementos de discrepâncias do IAVAS podem ser inferidos por meio de técnicas de geoprocessamento disponíveis em ambientes SIG's, por exemplo, análises zonais e relações topológicas.

Após a análise de cada parâmetro o IAVAS é calculado de acordo com a seguinte equação:

$$LAVAS = \frac{(|NP_R - NP_S|) - MVDZ_{NP}}{DPDA_{NP}} + \frac{(|L_R - L_S|) - MVDA_L}{DPDA_L} + \frac{(|VA_R - VA_S|) - MVDA_{VA}}{DPDA_{VA}} \\ + \frac{(C_{R-S}) - MVDA_C}{DPDA_C} + \frac{(|NQ_R - NQ_S \cong (R+FT)|) - MVDA_{FC}}{DPDA_{FC}}$$

Sendo o NP - número de polígonos, L - comprimento total de linhas, VA variância das áreas dos polígonos, C - centro de massa mais próximo.

O parâmetro faixa de coincidência foi representado por NQR, que corresponde ao número de quadrículas da imagem de referência, e por NQS \cong (R+FT) que corresponde ao número de quadrículas da imagem segmentada coincidentes com as quadrículas da imagem de referência acrescida da faixa de tolerância (FT).

Todos os elementos foram subtraídos pelo menor valor das diferenças absolutas encontradas (MVDA), e divididos pelo desvio padrão das diferenças absolutas para o parâmetro analisado (DPDA).

O índice IAVAS apresenta valores iguais ou maiores que zero, sendo que o valor zero representa a menor diferença entre a segmentação e a imagem de referencia (OLIVEIRA, 2002).

2.2 Técnicas de geoprocessamento utilizadas na agricultura

O termo Geoprocessamento representa as técnicas matemáticas e computacionais que são utilizadas para o tratamento da informação geográfica. As ferramentas de geoprocessamento, conhecidos por sistemas de informação geográfica (SIG), permitem a integração de dados geográficos de diversas fontes (CAMARA et al, 2000). Essa flexibilidade no tratamento de informação geográfica faz com que o geoprocessamento seja utilizado em várias áreas, dentre elas destacamos a agricultura, tema central deste trabalho.

Por meio do uso de SIG e de análise espacial é possível caracterizar a organização do espaço geográfico, compreendendo sua estrutura e forma. Para a agricultura o geoprocessamento se apresenta como um importante elemento para a compreensão da dinâmica desta atividade, possibilitando o cruzamento de dados de diferentes fontes.

Dentre as várias possibilidades de análises que o geoprocessamento permite, destaca-se que para o escopo deste trabalho as principais são operações sobre objetos,

operadores zonais, operações de atualização de atributos, análise de relacionamentos topológicos e geoestatística (CAMARA et al, 2000). Os parâmetros de discrepância utilizados para o cálculo do IAVAS foram efetuados utilizando SIG.

As operações zonais são realizadas sobre regiões de um campo de entrada, onde restrições são definidas por meio de operações Booleanas, as quais envolvem outro dado de entrada, que pode ser um campo, polígonos, linhas e pontos (CAMARA et al, 2000). Esses operadores também incluem estatísticas simples, como, média, moda, mediana, máximo, entre outros.

A álgebra de mapas permite identificar regiões que satisfazem determinada condição, por exemplo, identificar qual região apresenta determinado tipo de solo (propício à atividade agrícola) e precipitação acima de 1000 mm, sendo que os resultados encontrados podem gerar um mapa de aptidão agrícola. Os ambientes SIG também permitem a análise de relacionamentos topológicos, por exemplo, toca, intersecção, cruza, disjunto, etc, os quais são importantes elementos para a álgebra de mapas.

A técnica de krigeagem (ou krigagem), utilizada para interpolar dados (CAMARA et al, 2000), está presente em muitos SIG's, sendo amplamente utilizada para compreender a espacialização de um fenômeno a partir de amostras.

Estas diferentes técnicas de geoprocessamento descritas acima foram utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho, principalmente para o cálculo do IAVAS.

3. Material e método

3.1 Material

3.1.1 Área de estudo

A área de estudo compreende oitenta municípios, os quais estão localizados na região sul do estado de São Paulo e norte do Paraná (Figura 2), totalizando uma área de aproximadamente 25.543km². Estes municípios são importantes produtores de soja, milho e cana-de-açúcar, sendo o milho cultivado após a soja (milho safrinha). Os limites de cada município e do contorno da área de estudo foram adquiridos por meio da base dados (em formato vetorial) da malha municipal do Brasil, fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

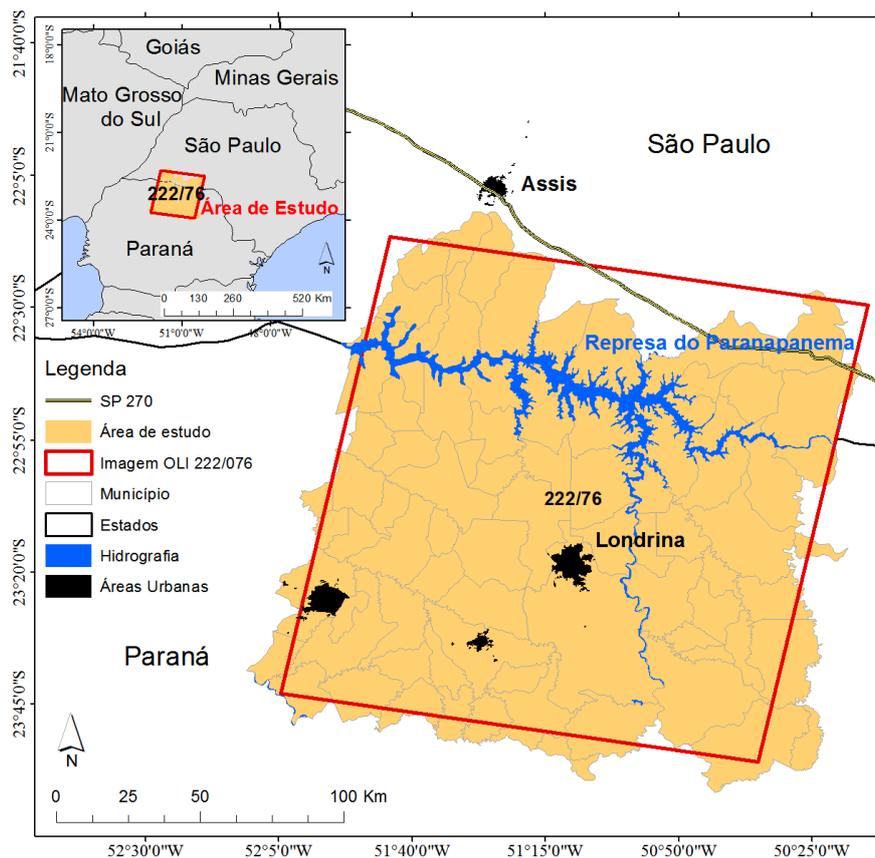


Figura 1: Localização da área de estudo

A agricultura, como em outras regiões do Brasil, é a principal atividade econômica dos municípios da área de estudo. De acordo com dados fornecidos pelo IBGE (2014), os quinze municípios de São Paulo produziram 195 mil toneladas de soja em 105 mil ha, enquanto que os municípios do Paraná produziram 9,5 milhões de toneladas em 122 mil ha.

Em relação à produção de milho safrinha nos municípios paulistas em 2014, a quantidade produzida foi de 473 mil toneladas em aproximadamente 100 mil ha. No estado do Paraná a produção desta commodity foi de aproximadamente 2,7 milhões de toneladas em uma área de 290 mil ha (IBGE, 2014).

O estado de São Paulo é responsável por cerca de 60% da produção nacional de cana-de-açúcar, sendo essa mais concentrada nos municípios do interior do estado (RUDORFF et al, 2010). Os municípios paulistas da área de estudo produziram em 2014 cerca de 13,5 milhões de toneladas de cana em 184 mil ha, enquanto que os municípios paranaenses 9,4 milhões de toneladas em 120 mil ha.

As áreas agrícolas, conhecidas como talhões ou glebas possuem dimensões diferenciadas entre as regiões do Brasil, sendo influenciada pelos tipos de culturas, tradição agrícola e principalmente pelo relevo da região. De acordo com Lamparelli et

al. (2008) a área média das propriedades na região, principalmente no norte do Paraná, é em torno de 25 há, o que influencia nas dimensões dos talhões agrícolas. De acordo com os dados do censo do IBGE de 2006, o tamanho médio dos talhões da região de estudo é de 3,5 ha.

3.1.2 Imagens de sensoriamento remoto (bandas x meses)

As imagens de sensoriamento remoto utilizadas neste trabalho correspondem à órbita/ponto 220/74 (Worldwide Reference System – WRS-2), do sensor OLI/Landsat 8, sendo obtidas nos meses de outubro (2014), janeiro e maio (2015). Estas imagens foram adquiridas pelo catálogo *EarthExplorer* do serviço geológico dos estados unidos (*USGS - U.S. Geological Survey*), disponíveis no seguinte endereço <http://earthexplorer.usgs.gov/>. A qualidade das imagens corresponde ao nível 1, ou seja, são corrigidas radiométricamente (reflectância da superfície), levando em conta correções atmosféricas necessárias.

3.1.3 Mapa Ouro

Como o processo de segmentação engloba todos os elementos presentes na imagem, foi necessário utilizar a técnica de álgebra de mapas para extrair apenas os segmentos correspondentes às áreas agrícolas. Para tal procedimento foi utilizado um mapa ouro, elaborado por Schultz (2016), que possuía áreas agrícolas como uma das classes de uso do solo.

3.1.4 *Global field size map*

Além dos dados relativos ao tamanho médio dos talhões agrícolas disponibilizados pelo IBGE, também foram utilizados dados do estudo elaborado por Fritz et al (2015), o qual consistiu no mapeamento do tamanho médio dos talhões a nível global e estão disponibilizados no seguinte endereço <http://www.geo-wiki.org/downloads/>.

O mapa global de tamanho de talhões, com resolução de 1km², foi desenvolvido por meio da interpolação de dados relacionados ao tamanho de talhões em várias regiões do globo coletados via Geo_Wiki (FRITZ et al, 2015).

3.1.5 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O modelo digital de elevação (MDE) disponibilizado pelo projeto Topodata foi utilizado no presente trabalho com o objetivo de comparar o tamanho dos talhões com a declividade da região.

O modelo disponibilizado pelo projeto é obtido a partir dos dados SRTM, os quais são disponibilizados pela USGS por meio de seu portal.

3.2 Método

3.2.1 Segmentação

O processo de segmentação das imagens de satélite consiste na divisão da imagem em regiões que possuem características similares, por exemplo, coloração textura, forma, etc (PARE, 2015).

Um dos algoritmos mais utilizados de segmentação é o por crescimento de regiões, o qual inicia a segmentação considerando cada pixel como sendo uma região, sendo agregada a esta os pixels que são semelhantes em determinado critério, como a cor, textura. O processo é encerrado quando os pixels não são mais homogêneos, ou seja, quando ocorre uma dessemelhança entre as regiões (SILVA, 2015).

O algoritmo utilizado no seguinte trabalho foi o segmentador multiresolução do tipo crescimento de regiões, o qual agrupa os pixels de cada objeto em função da definição de seis parâmetros: 1) Fator de Escala (Fe), responsável por delimitar a heterogeneidade máxima permitida para os objetos da imagem; 2) Cor (Cr), a qual é inversamente proporcional ao parâmetro Fm; 3) Forma (Fm), o qual consiste na união dos parâmetros de compacidade e suavidade; 4) Suavidade (Sv), que representa o limite entre os objetos 5) Compacidade (Cp), obtido a partir da razão da área do objeto e o raio da circunferência abrangente e; 6) Peso (Pb), consiste na atribuição de pesos nas bandas utilizadas (BAATZ & SCHÄPE, 2000; FERNANDES et al, 2012; SCHULTZ et al, 2016).

3.2.2 Áreas de teste e IAVAS

Para estimar o IAVAS foram delimitadas quatro áreas (figura 2) testes com dimensões de 25 km por 25 km, as quais melhor representavam as diferentes geometrias e tamanhos dos talhões de cana-de-açúcar, milho e soja na região de estudo.

Como base de referência para a obtenção do IAVAS foi realizada a vetorização, por meio de interpretação visual, das áreas de soja, milho e cana-de-açúcar utilizando as imagens do sensor OLI de outubro, janeiro e maio.

Os parâmetros do IAVAS foram calculados utilizando técnicas de geoprocessamento disponibilizadas em suas ferramentas, os SIG. Para o levantamento dos parâmetros de discrepância foi utilizada a álgebra de mapas, identificando as diferenças entre os mapas (imagem segmentada e de referência).

O primeiro parâmetro de discrepância avaliado foi o número de polígonos de cada imagem, o qual foi gerado a partir da consulta aos atributos dos elementos espaciais. Para o cálculo do comprimento total das linhas foi utilizado um algoritmo de análise espacial. Tal parâmetro precisa ser analisado, pois o elemento de análise da segmentação é o próprio pixel, o que acarreta em um comprimento maior das linhas quando comparado com o polígono gerado pela interpretação visual.

A variância das áreas também foi calculada a partir de um algoritmo de análise espacial, sendo que a variância geralmente é maior no resultado da segmentação quando comparado com a referência.

O parâmetro relacionado centro de massa mais próximo tem por objetivo a estimar a coerência espacial os polígonos da segmentação e a imagem de referência. Primeiramente foram gerados centro de massa nos polígonos da imagem segmentada e de referência. Após foi realizado o cálculo da distância euclidiana entre os centros de massa a fim de identificar as diferenças entre os polígonos.

Outro parâmetro analisado é a faixa de coincidência, a qual foi calculada a partir da sobreposição das imagens este parâmetro consiste em quantificar os pixels da imagem segmentada que são coincidentes com os pixels da imagem de referência, podendo somente ser realizado após a transformação do dado vetorial em matricial, a qual é necessária para a álgebra de mapas.

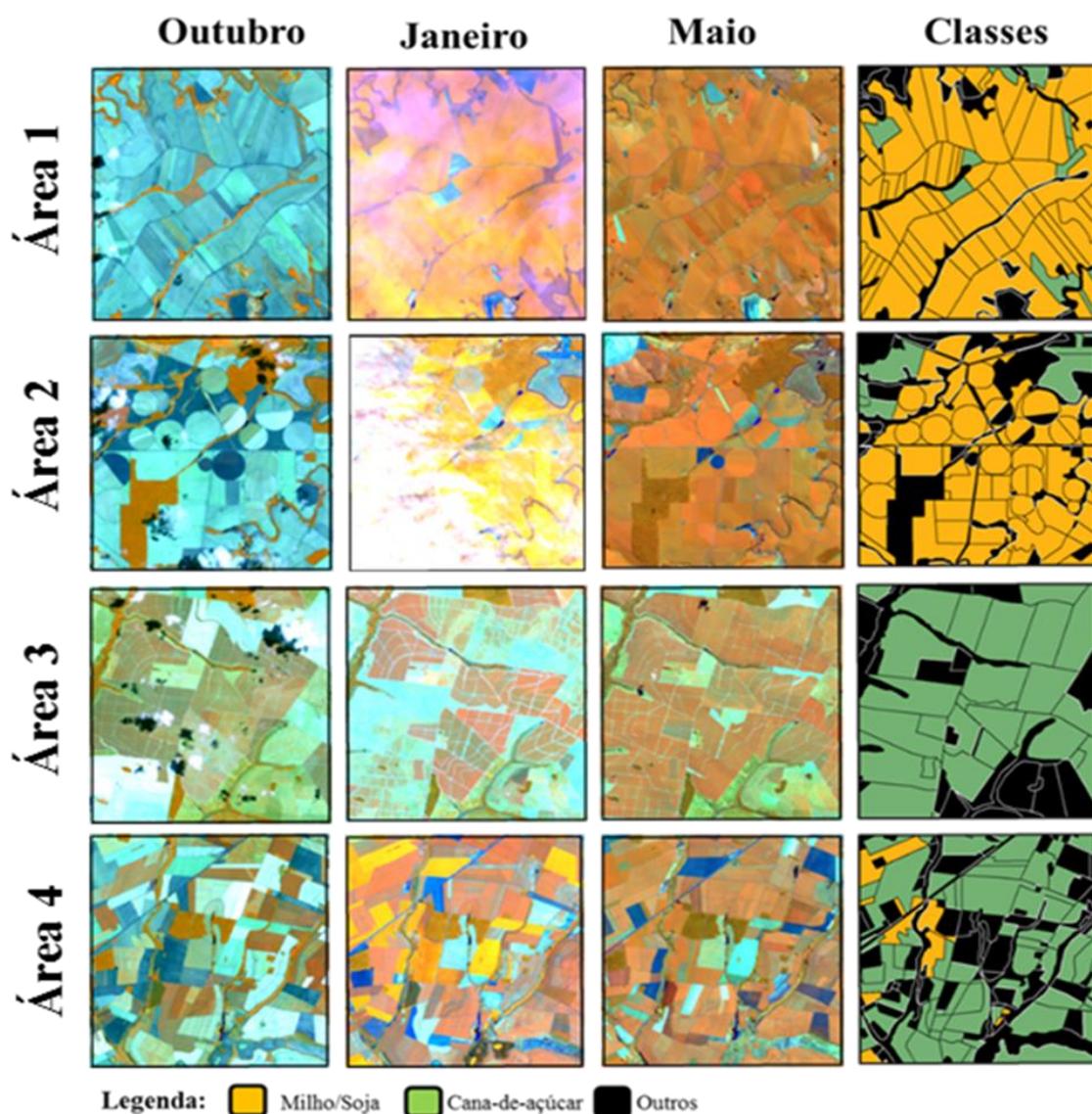


Figura 2: Áreas de teste com diferentes dimensões e geometrias

Ao término da análise dos cinco parâmetros para todas as segmentações efetuadas identificaram-se aquelas que possuíam o menor valor de IAVAS, ou seja, estavam mais próximas de zero.

Após a determinação do fator de escala que apresentou o menor IAVAS, uma segmentação abrangendo completamente a imagem de outubro (livre de nuvens) foi efetuada. O fator de escala utilizado gerou segmentos de todos os elementos presentes, como rodovias, corpos hídricos, área urbana, entre outros.

Como o objetivo do é identificar o fator de escala ideal para a individualização dos talhões agrícolas, foi necessário a realização de uma operação booleana entre o resultado da segmentação e um mapa ouro (SCHULTZ, 2016), o qual possuía a classe áreas agrícolas (principalmente lavouras de milho, soja e cana-de-açúcar). A partir desta

operação foi possível obter apenas os segmentos correspondentes à área de interesse (agrícola).

Uma análise zonal foi realizada entre os dados referentes à segmentação e os limites municipais, a fim de obter o tamanho médio dos polígonos da segmentação por município. Essa etapa foi efetuada com o objetivo de comparar o tamanho médio dos segmentos com e os dados levantados durante o censo agropecuário de 2006, coordenado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Entre os dados do censo estão o tamanho médio dos talhões agrícolas por município brasileiro, sendo estes essenciais para a corroboração dos resultados deste trabalho.

A partir da análise zonal foi realizada uma krigagem com os dados, a fim de compreender a distribuição contínua do tamanho dos talhões em toda a área de estudo, sendo este resultado comparado com o mapeamento global realizado por Fritz et al. (2015).

O diagrama a seguir (figura 3) apresenta as etapas que foram estabelecidas para o desenvolvimento do presente trabalho.

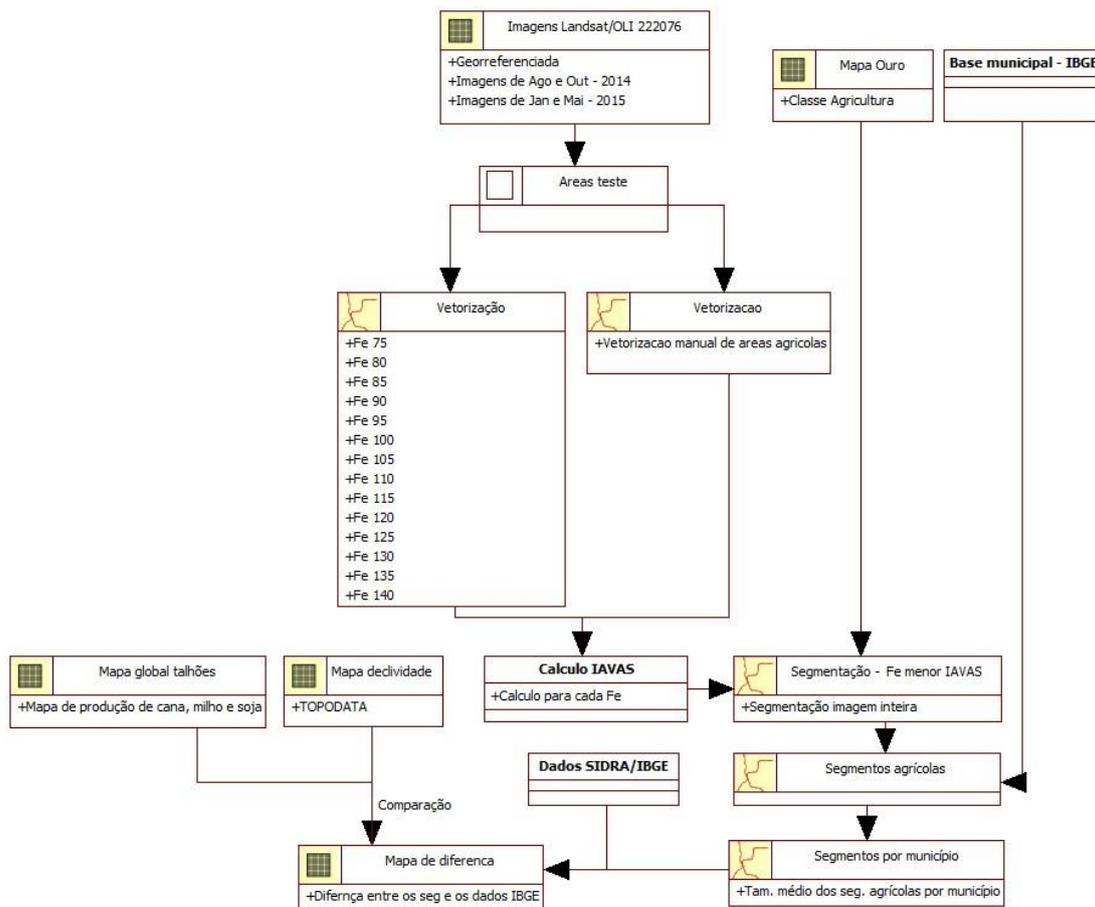


Figura 3: Diagrama OMT-G. Etapas para o desenvolvimento do trabalho

3 Resultados e discussão

3.1 IAVAS

O IAVA é um índice que exprime a similaridade entre duas imagens, ou seja, quanto maior a diferença entre elas, maior será seu valor.

Como pode ser observado nos gráficos abaixo os distintos fatores de escala geraram IAVAS com valores diferentes, sendo que as maiores discrepâncias podem ser observadas nos fatores de escala mais elevados.

Após a análise de todos os IAVAS obtidos para os diferentes fatores de escala definiu-se que demonstram que o fator de escala que gerou polígonos mais similares com a referência de campo corresponde ao valor 75. Veja o gráfico a seguir.

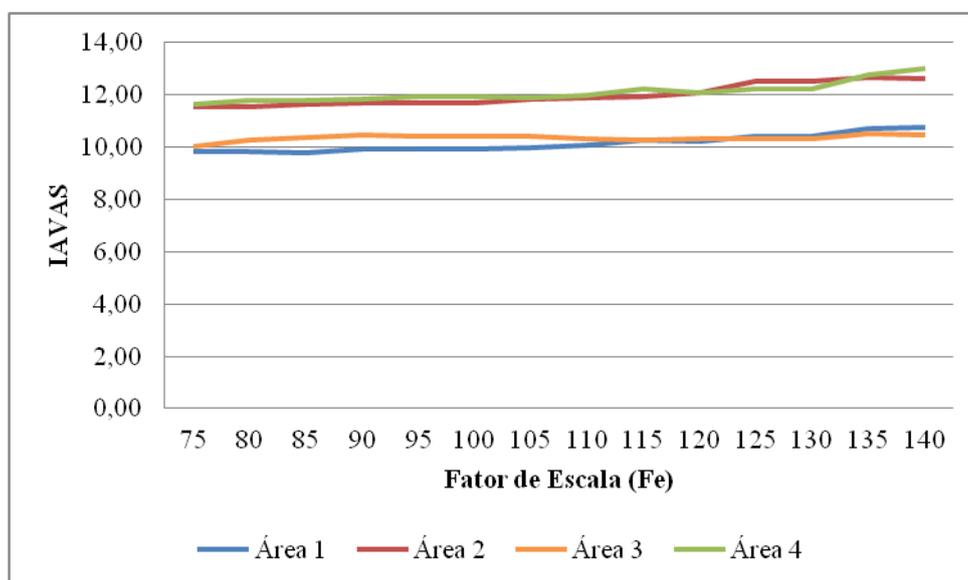


Figura 4: Valores de IAVAS obtidos de cada fator de escala nas quatro áreas testes.

A segmentação, que englobou todos os municípios da área de estudo, foi gerada com o fator de escala 75. Essa segmentação foi realizada com o objetivo de obter o tamanho médio dos segmentos que correspondiam aos talhões agrícolas por municípios, por meio de uma análise zonal. Como a segmentação dividiu todos os elementos das imagens, uma álgebra de mapas precisou ser realizada a fim de excluir os polígonos que não pertenciam à classe de interesse do estudo.

Procedeu-se uma comparação entre o tamanho médio dos polígonos referentes à segmentação e o tamanho médio dos talhões agrícolas levantados pelo IBGE durante o censo agropecuário de 2006. A diferença entre os dois dados pode ser observada na figura 4. As maiores discrepâncias são representadas pelas esferas maiores.

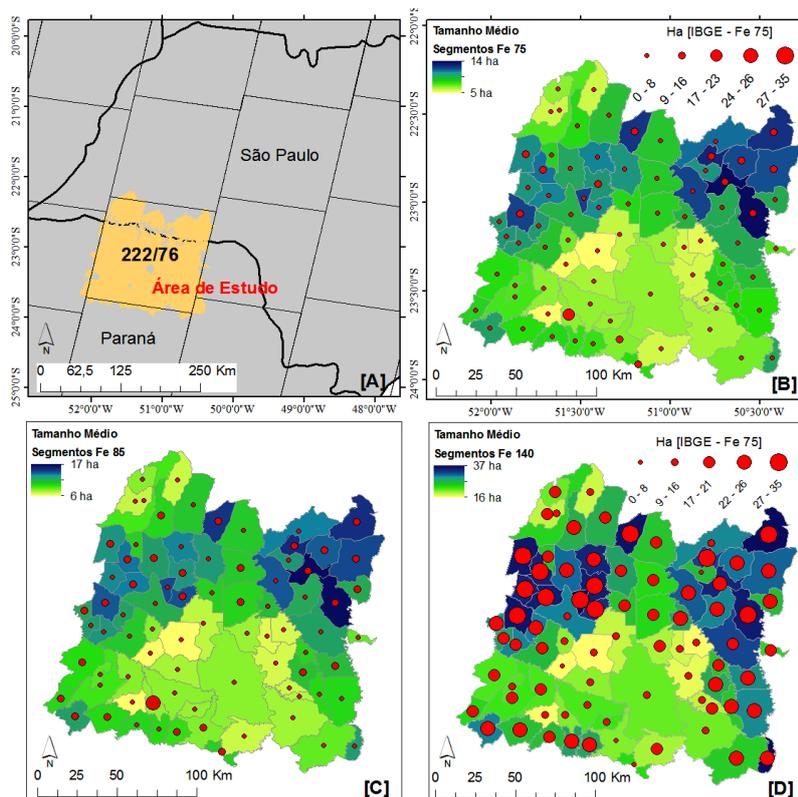


Figura 5: Diferença entre o tamanho médio dos talhões agrícola. Localização (5A). Fator de escala 75 (5B). Fator de escala 85 (3C). Fator de escala 140 (5D).

Verifica-se que o fator de escala que apresenta menores diferenças é o mesmo que apresentou menor IAVAS. Conforme o valor do fator de escala aumenta a discrepância entre os dados aumenta, como representado pela figura 5D, na qual o fator de escala corresponde a 140. É possível identificar também que de modo geral os municípios que possuem talhões maiores apresentaram maior diferença do que os municípios que com talhões menores. Isso pode ser ocasionado devido à presença de carregadores nos talhões de cana-de-açúcar, pois a segmentação individualizou estas áreas, não considerando a área como um talhão único.

Alguns municípios apresentaram um comportamento diferenciado, conforme o fator de escala aumenta a diferença entre os dados diminui. Isso ocorreu em dois municípios que possuem sua delimitação mais alongada.

A figura 6 apresenta a área cultivada com cana-de-açúcar, milho e soja no ano de 2014 nos municípios em estudo (IBGE, 2014). Ao comparar com o mapa de diferenças percebe-se que esta também foi menor para os municípios que possuíam a maior área cultivada, corroborando para o fato de que o fator de escala é adequado para todos os municípios independentemente do tamanho da área cultivada.

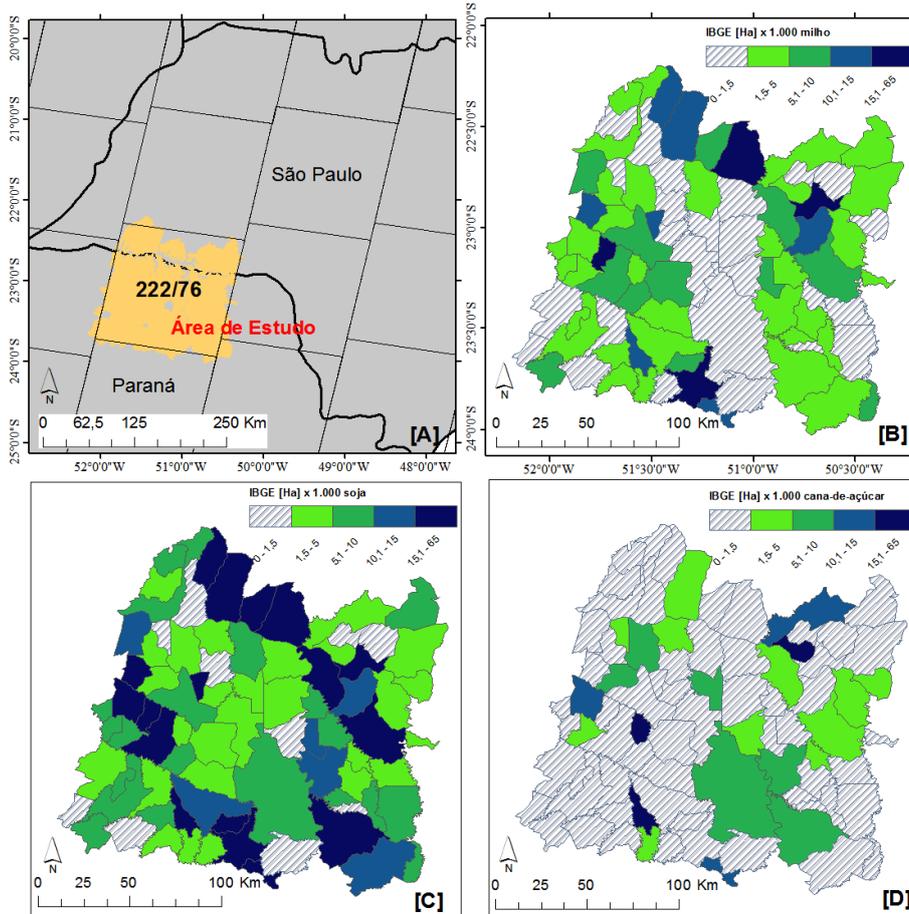
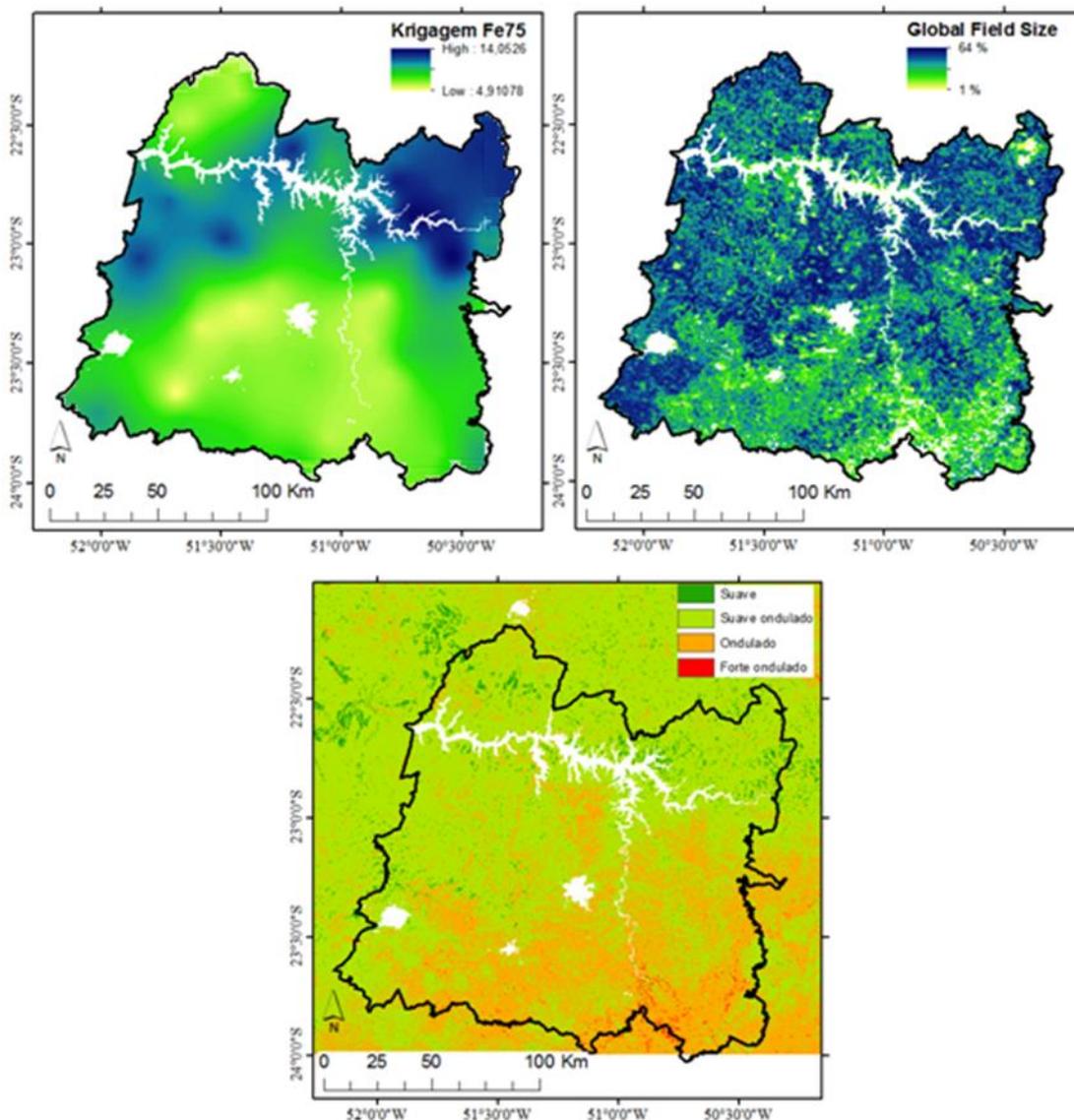


Figura 6: Área plantada com milho 4(B), soja 4(C) e cana-de-açúcar (D).

Um dos condicionantes para a diversidade do tamanho dos polígonos de áreas agrícolas é o relevo. As limitações impostas por canais de drenagens, escarpas, alta declividade, etc, acarretam em forma e tamanhos de talhões diferenciados entre as regiões brasileiras.

A figura 7 apresenta a relação entre três mapas. O mapa 7A representa o resultado da krigagem, a partir dos centroides dos municípios, os quais possuem como atributo o tamanho médio dos talhões agrícolas destes. O mapa 7B, o qual representa o tamanho dos talhões da região, sendo este uma parte do mapeamento elaborado por Fritz et al. (2015). Ao comparar estes dois mapas é possível identificar uma certa semelhança na distribuição dos talhões, sendo que a região sul da área de estudo apresenta a maior porção de talhões com menores tamanhos, enquanto que a porção norte corresponde aos maiores.



Uma das explicações para a variação do tamanho dos talhões e sua distribuição pode ser obtida ao comparar os dois mapas com o mapa 7C, o qual representa a declividade da região. É possível identificar que na porção sul da região a presença do relevo ondulado a forte ondulado é marcante, acarretando em talhões com menores tamanhos, como observado no mapa 7A e 7B.

Geralmente talhões agrícolas são delimitados por elementos ambientais, como relevo, escarpas, rios, etc. Na porção norte da região, principalmente no estado de São Paulo é possível identificar a contração de talhões com maiores dimensões, o que pode ser explicado pela presença de um relevo mais suave ou suave ondulado. Essas conclusões reafirmam os elementos presentes na literatura e que foram destacados anteriormente.

Considerações Finais

A definição de uma metodologia eficaz para a estimativa de safras é fundamental para a área estratégica e econômica. Os dados de sensoriamento, juntamente com técnicas de geoprocessamento, são fundamentais para tal estimativa.

A definição de um fator de escala adequado esbarra em uma série de problemáticas. A principal é a diversidade das dimensões e formas dos talhões agrícolas no território brasileiro. Essas características variam de região para região, sendo a estrutura fundiária, o tipo de cultura e o relevo os principais determinantes.

São necessários estudos que englobam as diferentes regiões do Brasil, identificando qual o fator de escala para a segmentação de imagens de sensores orbitais é mais adequado para aquela realidade.

Referências

WITHARANA, C., CIVCO, D. L., MEYER, T. H. Evaluation of data fusion and image segmentation in earth observation based rapid mapping workflows. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 87 (2014) 1–18.

POZZI, W. S., JUSTIN S., ROBERT C., DOUGLAS P., ROGER V., JÜRGEN V., RICHARD R. B., MICHAEL J. S., MARK W., ROGIER V. D., ALBERT I. J. M. L. H., BENJAMIN P., FLORIAN W., MICHA D., EMANUEL W., FREDRIK W., WOLFGANG S., SIEGFRIED M., KINGTSE N., MARGARET B., LYNETTE N., LILIANA V. B., RENS B., GONCALVES M., GONCALVES L. G. Toward Global Drought Early Warning Capability: Expanding International Cooperation for the Development of a Framework for Monitoring and Forecasting. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 94, p. 776-785, 2013.

ORTIZ, M. J.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N. Identification of irrigated winter crops through integration of remote sensing, GIS and multitemporal database. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n.01, p. 95-105, 1997.

CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO, A. M. V., PAIVA, J., D'ALGE, J. C. Geoprocessamento: Teoria e Aplicações. 1. ed. Sao Jose dos Campos: INPE, 2000.

EPIPHANIO, J. C. N., LUIZ, A. J. B., FORMAGGIO, A. R. Estimativa de áreas agrícolas municipais usando sistema de amostragem sobre imagens de satélite. *Bragantia*, Campinas (S.P.), v. 61, n.02, p. 187-197, 2002.

PARE, S. BHANDARI, A. K. KUMAR, A. SINGH, G. K. KHARE, S. Satellite image segmentation based on different objective functions using genetic algorithm: A

comparative study. **IEEE International Conference on Digital Signal Processing (DSP)**. Singapore, 2015. P. 730 – 734, ISSN:1546-1874.

RUDORFF, B F T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1057-1076, 2010.

SILVA, L. R. **Análise das imagens do satélite RapidEye para discriminação de classes de cobertura vegetal do cerrado**. 2015. xv, 82 f., il. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

FERNANDES, R.R.; NUNES, G.N.; SILVA, T.S.F. Classificação orientada a objetos na caracterização da cobertura da terra no Araguaia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n. 9, p. 1251-1260, 2012.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.58, n.10, p. 12-23, 2000.

SCHULTZ, B.; FORMAGGIO, A. R.; EBERHARDT, I. D. R.; SANCHES, I. D. A.; OLIVEIRA, J. C.; LUIZ, A. J. B. Classificação orientada a objetos em imagens multitemporais landsat aplicada na identificação de cana-de-açúcar e soja. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, N0 68/1, p. 131-143, Jan/Fev/2016.