



Segmentação Distribuída de Imagem de Sensoriamento Remoto a partir de Banco de Dados PostgreSQL/InterIMAGE

Distributed Segmentation of Remote Sensing Image from PostgreSQL Database/InterIMAGE

Simone Dutra Martins Guarda¹; Edson Eyji Sano²; Edilson Souza Bias¹;
Emiliano Ferreira Castejon³; Patrick Nigri Happ⁴; Alexandre de Amorim Teixeira¹;
Rodrigo Rodrigues Antunes¹ & Rogério Baptista de Sousa¹

¹Universidade de Brasília – Instituto de Geociências, Campus Universitário Darcy Ribeiro, s/n, Asa Norte, 70919-970, Brasília-DF, Brasil

²Embrapa Cerrados, BR-020 km 18, s/n, 73301-970 Planaltina-DF, Brasil

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010, São José dos Campos-SP, Brasil

⁴Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro,

Rua Marquês de São Vicente 225, 22453-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mails: simonedmg@ifo.edu.br; edson.sano@embrapa.br; edbias@unb.br; emiliano.castejon@inpe.br; patrick@ele.puc-rio.br; alexandre.amorim@ana.gov.br; rodrigorantunes@hotmail.com; rogeriobsousa@gmail.com

DOI: http://doi.org/10.11137/2020_2_426_436; Recebido: 22/05/2020 Aceito: 19/06/2020

Resumo

A abordagem de classificação baseada em objetos representa um novo paradigma no processamento de imagens de altas resoluções espaciais, espectrais e temporais, e a construção de objetos baseia-se na segmentação das imagens. A análise de imagens baseada em objetos (GEOBIA - *Geographic Object-Based Image Analysis*) apresenta métodos capazes de explorar, além de atributos espectrais, elementos como textura, forma ou contexto. Existem aplicações que buscam melhorar o desempenho computacional com soluções sequenciais e distribuídas, ou programas como TerraView que abordam o uso de sistemas gerenciadores de banco de dados. Este trabalho propõe explorar especificações de aplicações para integrar o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL/PostGIS e o classificador *Object-Based Image Analysis* (OBIA) do InterIMAGE Desktop para processamento de grandes imagens orbitais. O método apresentado é expansível no uso da biblioteca TerraLib 5, com linguagem de programação C++. Os experimentos realizados com as representações matriciais (*raster*) indicaram a viabilidade das aplicações e podem se consolidar sob a forma de processos de armazenamento e processamento da segmentação no SGBD.

Palavras-chave: Segmentação. InterIMAGE. PostGIS.

Abstract

The object-oriented classification approach represents a new paradigm in the image processing of high spatial, spectral, and temporal resolutions, and the construction of objects is based on the image segmentation. The object-based image analysis (GEOBIA - *Geographic Object-Based Image Analysis*) presents methods capable of exploring, in addition to spectral attributes, elements such as texture, shape, or context. The solutions aim better computational performance in applications with sequential and distributed solutions, but few address the use of database management systems. This work proposes to explore application specifications to integrate the PostgreSQL / PostGIS Database Management System (DBMS) and the InterIMAGE Desktop Object-Based Image Analysis OBIA classifier for processing large orbital images. The presented method is expandable in the use of the TerraLib 5 library, with C++ programming language. The experiments performed with the raster representations indicated the feasibility of the applications and can be consolidated in the form of storage processes and segmentation processing in the DBMS.

Keywords: Segmentation. InterIMAGE. PostGIS.

1 Introdução

Os avanços tecnológicos que resultaram na melhoria das resoluções espacial e radiométrica das imagens orbitais evidenciaram as limitações dos métodos tradicionais de classificação de imagens baseados em pixels. Com a evolução do nível de detalhes das imagens geradas pelas novas plataformas orbitais têm-se estimulado o aperfeiçoamento de novos classificadores, uma vez que os tradicionais elaborados para imagens de médias e baixas resoluções espaciais, se apresentaram pouco eficientes nas distinções automáticas e semi-automáticas dos alvos identificáveis nas imagens de altas resoluções espaciais hoje disponíveis (Blaschke & Strobl, 2001; Blaschke *et al.*, 2008).

Diversos autores têm adotado com êxito a abordagem de processamento de imagens em que a unidade básica é o objeto, que pode ser composto por agrupamentos de vários pixels com características espectrais semelhantes e processados pelo tamanho, homogeneidade espectral, homogeneidade espacial e forma do objeto (Baatz & Schäpe, 2000; Zhong *et al.*, 2005; Chubey *et al.*, 2006; Blaschke, 2010; Blaschke *et al.*, 2014). A técnica, denominada de classificação baseada em objetos, procura integrar os procedimentos de processamento e extração de informações de forma similar aos que são realizados pela mente humana. Em outras palavras, a referida classificação procura caracterizar padrões e feições de uma imagem de forma intuitiva (Baatz & Schäpe, 2000).

A área de investigação denominada de Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos (GEOBIA - *Geographic Object-Based Image Analysis*) utiliza métodos de análise de imagem capazes de explorar, além de atributos espectrais, outros elementos interpretativos como textura, forma ou contexto (Hay & Castilla, 2008; Blaschke, 2010). O advento de *softwares* comerciais de GEOBIA como o eCognition® (*DEFINIENS IMAGING*, 2016) fizeram intensificar o interesse nesta abordagem para o tratamento dos dados de sensoriamento remoto (Chubey *et al.*, 2006; Blaschke *et al.*, 2014). Entretanto, um fator impeditivo para sua ampla utilização dessa promissora tecnologia tem sido o seu alto custo de aquisição do *software*.

Dentro desse contexto, o InterIMAGE (InterIMAGE, 2009), um *framework* de código aberto, se tornou uma alternativa interessante de substituição aos pacotes de *softwares* comerciais de interpretação

automática de imagens, pois, além de gratuito, possui operadores baseados em GEOBIA para classificar dados de sensoriamento remoto. Segundo Novack & Kux (2010), o InterIMAGE é fundamentado em um sistema chamado GeoAIDA que foi desenvolvido na Universidade de Leibniz em Hannover, Alemanha. A classificação presente no sistema é respaldada em um modelo de conhecimento estruturado como uma rede semântica definida pelo usuário. Os nós da rede semântica representam conceitos de objetos da imagem, ou seja, classes temáticas que se quer encontrar na cena. Os arcos da rede representam as relações entre as classes. Os passos *top-down* e *bottom-up* constituem estratégias de classificação. Geralmente, na detecção de objetos da classe correspondente, operadores holísticos realizam três procedimentos na seguinte ordem: (1) segmentação (ou importação de dados geográficos); (2) extração de atributos; e (3) classificação. Costa *et al.* (2010) descreveram que geralmente as operações *top-down* e *bottom-up* compõem-se de dois elementos, um operador e uma regra de decisão. Em outras palavras, pode-se definir um operador e seus parâmetros. Para cada nó da rede semântica, estabelecem-se as regras de decisão.

Entretanto, o InterIMAGE possui limitação para processar e classificar imagens com tamanhos superiores a 9 Mpixels, pois os processamentos de segmentação e classificação envolvem grandezas de cálculos hierárquicos como tamanho da rede semântica e número de objetos a serem calculados. O InterIMAGE está acoplado à biblioteca TerraLib que permite a implementação de novas interfaces (*Application Programming Interface* - API) mediante o uso de linguagem de programação C++, e encontra-se disponível para download gratuito em: <http://www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage/pt-br/>.

Os Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados Objeto-Relacional (SGBDOR) vêm se consolidando como principal solução de armazenamento de diversos tipos de dados que exigem alta capacidade de armazenamento. De acordo com as especificações do *OpenGIS Consortium* (OGC) (PostGIS, 2018) o PostgreSQL corresponde a um SGBDOR de código aberto e de grande porte, que oferece suporte a dados espaciais por meio de sua extensão PostGIS para vetores ou para *Well-Know Text Raster* (WKT Raster) para dados matriciais como são os casos das imagens de satélite. Nesse contexto, o PostgreSQL denomina-se de Sistema Gerenciador de

Banco de Dados Geográficos PostgreSQL/PostGIS, e utiliza a linguagem de gerenciamento de dados denominada *Structured Query Language* (SQL), que permite manipular funções e consultas complexas entre tabelas e catálogos, permitindo o relacionamento entre tabelas do banco com dados espaciais como vetores e matrizes. Assim, este estudo tem, como objetivo, apresentar uma solução de implementação em uma API que utiliza o segmentador de imagens desenvolvido por Baatz & Schäpe (2000), para segmentar imagens armazenadas no gerenciador de banco de dados PostgreSQL/PostGIS *Raster*, com o uso e visualização dos resultados via InterIMAGE

Desktop 1.43.

2 Materiais e Métodos

Foi utilizada uma imagem do satélite GeoEye-1 da cidade de Goianésia – GO e arredores, obtida em 09 de julho de 2013, com quatro bandas multiespectrais e fusionada com a banda pancromática, resultando na resolução espacial de 0,5 metros (as dimensões da imagem em pixels são de 9.404×21.360 pixels, totalizando 25 km^2) (Figura 1). A cena contém áreas urbanas densas a áreas pouco adensadas, cercadas por terras agrícolas com pequenas manchas de vegetação natural (área florestada) (Antunes *et al.*, 2015).

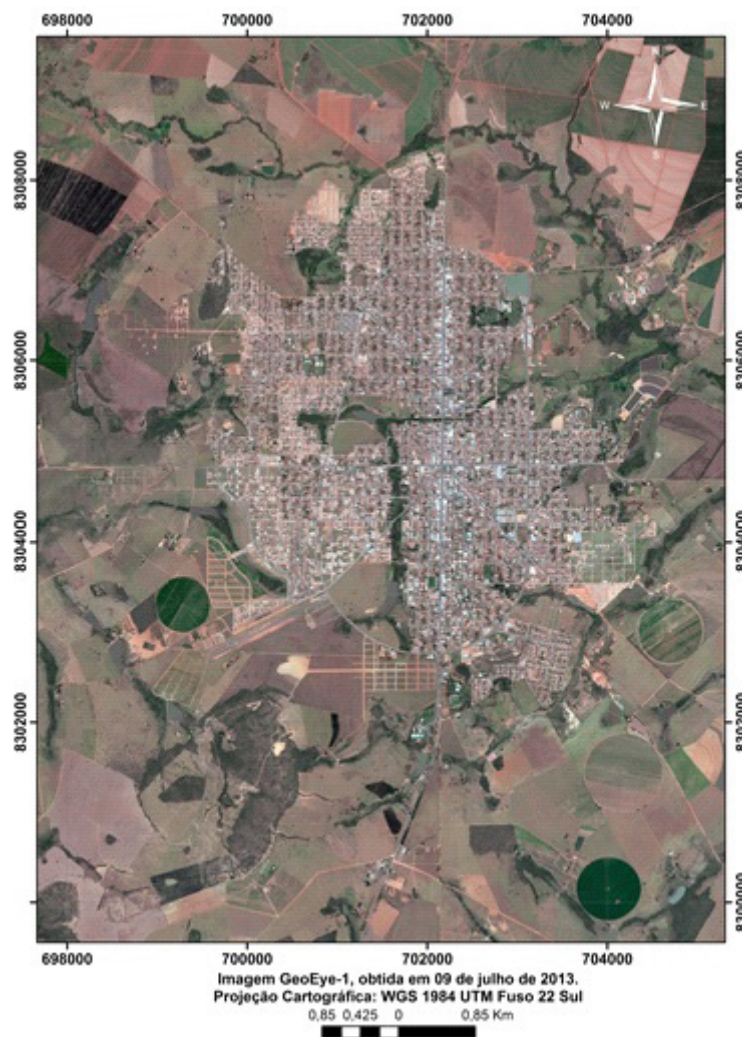


Figura 1 Composição colorida R(1)G(2)B(3) da área de estudo (cidade de Goianésia/GO e arredores).

Os principais *softwares* utilizados para as implementações dos aplicativos no ambiente do sistema operacional Windows 10 foram: Microsoft Visual Studio C++ 2013; PostgreSQL versão 9.6.5-1; PostGIS versão 2.3.2; TerraLib 5.2.2; e InterIMAGE versão 1.43. A arquitetura tecnológica

para programar a API contemplou a estrutura física de um *notebook* ACER, modelo Aspire F 15, processador Intel® Core™ i7-7500U 2.7 GHz com Turbo Boost up to 3.5 GHz, memória RAM DDR4 com capacidade de armazenamento de 16 GB, disco rígido de 2000 GB e placa de vídeo NVIDIA®

GeForce® 940MX com 4 GB VRAM dedicada.

Na Figura 2, é demonstrado o fluxograma geral das etapas do trabalho e o detalhamento da programação e execução da API. Os arquivos das implementações e os códigos fontes da API estão todos disponíveis gratuitamente no endereço eletrônico <https://github.com/orgs/ifto-palmas/>. Para

efetuar a segmentação com a imagem armazenada no banco de dados, houve a necessidade de atualizar a biblioteca TerraLib para a versão 5.2.2 (TerraLib, 2017). Para o processamento da imagem no PostgreSQL/PostGIS *Raster*, foi realizada a divisão da imagem em *tiles* de 1.024 pixels x 1.024 pixels.

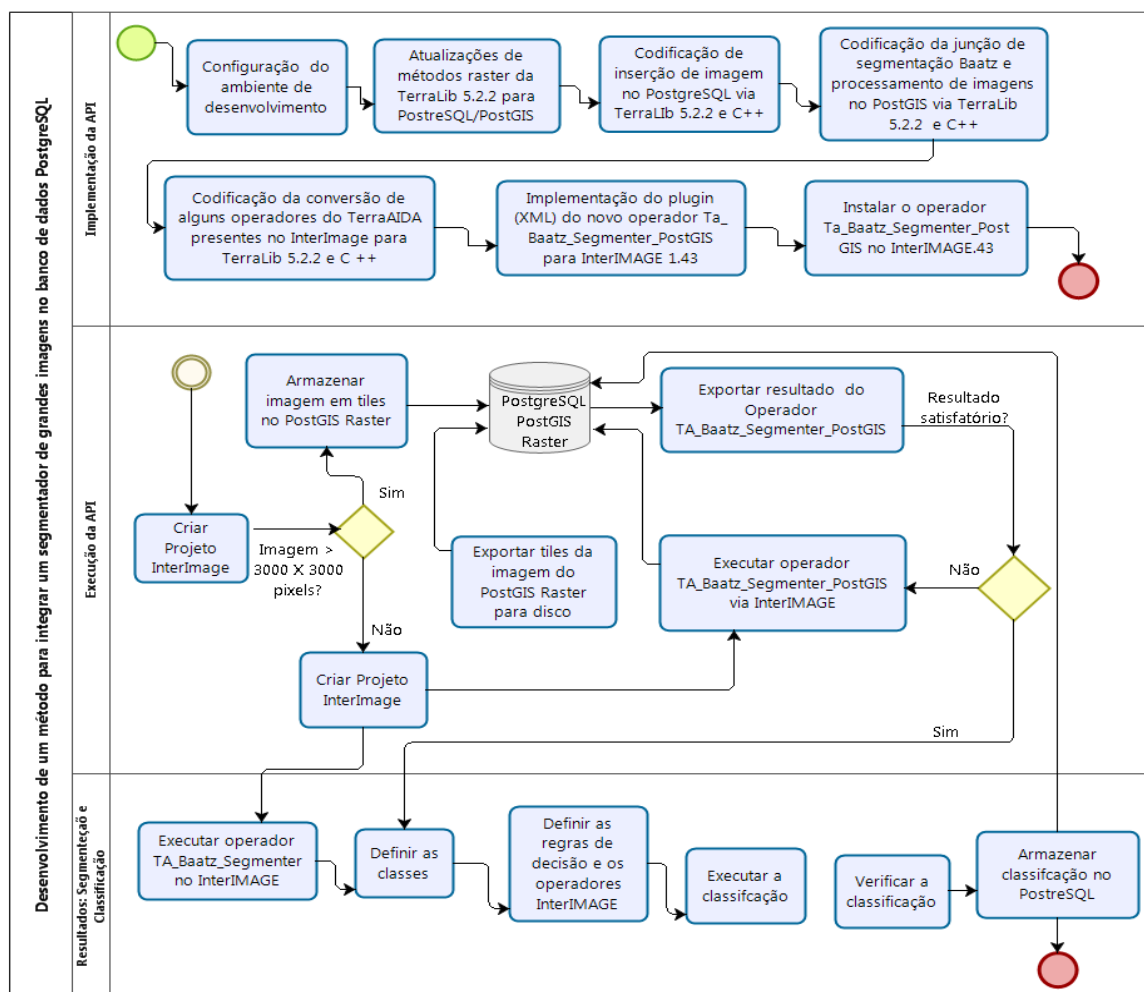


Figura 2 Fluxograma de execução da API Segmentação no PostgreSQL/PostGIS *Raster*.

Os *tiles* foram produzidos de acordo com os procedimentos definidos por Sample (2010): escolha do nível de base para o conjunto de *tiles*; determinação dos limites geográficos do conjunto de arquivos, com base nos limites das imagens de origem; determinação dos limites do conjunto de blocos nas coordenadas do bloco; inicialização do mecanismo de armazenamento do bloco; e interação sobre as coordenadas do conjunto de mosaicos. Foi efetuada a junção dos códigos de segmentação

na biblioteca TerraLib 5.2.2 com o uso do Visual Studio 2013 C++ e compilação do algoritmo de segmentação, acompanhado dos métodos de manipulação e processamento da imagem armazenada no PostgreSQL/PostGIS *Raster*, incluindo a entrada dos elementos necessários à segmentação.

O algoritmo do segmentador multi-resolução de Baatz & Schäpe (2000) é do tipo crescimento de regiões (Espindola & Câmara, 2007) e agrupa os

pixels de cada objeto em função da definição de seis parâmetros: fator de escala, cor, forma, suavidade, compacidade e o peso para cada banda espectral da imagem. De acordo com Baatz & Schäpe (2000), o fator de escala determina a heterogeneidade máxima permitida para os objetos da imagem e seu valor varia de acordo com o tamanho dos objetos resultantes. Assim, um parâmetro de escala com valores maiores produz objetos maiores. A forma consiste na união dos parâmetros de compacidade (relação entre a área do objeto e o raio da circunferência abrangente) e suavidade (definição do limite entre os objetos; quanto mais fractal, maior o índice de forma). A cor é inversamente proporcional à forma, enquanto o peso é definido em função da ponderação (entre zero e um) que se deseja aplicar para cada banda utilizada. Os valores de escala, forma, compacidade, suavidade e cor variam de zero a um.

A implementação do *plug-in* *TA_Baatz_Segmenter_PostGIS* (XML) permitiu inserir os parâmetros de entrada para o operador. No processamento do algoritmo de segmentação, os primeiros resultados são armazenados como um *raster* no PostGIS *Raster* em *tiles*, bem como em arquivos no disco rígido e convertidos para formato vetorial (*shapefile*), ficando disponível para acesso no programa InterIMAGE 1.43. O *plugin* *TA_Baatz_Segmenter_PostGIS* (XML) foi instalado no InterIMAGE, pois a descrição XML do operador diz ao sistema sobre como montar a linha de comando para executar o programa executável associado. Os parâmetros de entrada para o *TA_Baatz_Segmenter_PostGIS* foram: parâmetros de conexão ao PostgreSQL/PostGIS *Raster*, isto é, nome do banco, usuário, senha, nome da máquina, porta, nome da tabela em que a imagem está armazenada, além dos parâmetros de segmentação.

No algoritmo implementado na API *TA_Baatz_Segmenter_PostGIS*, estão definidos, como padrão, os seguintes parâmetros: processamento em blocos, isto é, a definição do tipo de processamento, se será ou não em blocos. Em caso afirmativo, executa-se o processamento *threaded* [melhor com sistemas multi-core ou multiprocessador (padrão: *true*)]; tamanho máximo do bloco (a imagem de entrada é dividida em blocos com essa largura para o processamento). Esse parâmetro indica o tamanho máximo do bloco lateral de processamento da imagem (largura ou altura). O tamanho pode ser definido considerando-se os recursos disponíveis do

sistema operacional em que está sendo executado e o número dos processadores físicos.

Para a execução da API no InterIMAGE, o ponto de partida é a criação do projeto e importação do dado de sensoriamento remoto, observando-se o limite no tamanho da imagem no InterIMAGE que é de 3.000 pixels x 3.000 pixels. Caso a imagem seja maior que o referido limite, é necessário acionar o comando de armazenar a imagem no PostGIS *Raster*, definindo os tamanhos dos *tiles* e, em seguida, exportando os dados para o disco rígido onde serão adicionados ao projeto para uso no processamento das segmentações e nas classificações. Após o carregamento das imagens em *tiles*, no projeto, o algoritmo de segmentação é acionado com as definições dos dados de entrada pela API que foi desenvolvida com a biblioteca TerraLib 5.2.2 e com o programa Visual Studio C++. O resultado da segmentação cria um registro no PostGIS *Raster* no tamanho integral da imagem original. Os tempos de processamentos foram medidos para cada execução dos operadores após a definição dos parâmetros de testes, estabelecendo-se um valor fixo para os blocos de processamento.

Na segmentação da imagem GeoEye-1, as quatro bandas do sensor (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) foram inseridas no sistema com o mesmo peso (Tabela 1), definindo-se assim a igual relevância de cada banda na segmentação. Os experimentos foram realizados variando-se os parâmetros de escala, peso de cor e peso de compacidade e obtendo-se a duração para cada processamento. Para demonstração dos resultados, foram denominados de Experimentos de 1 a 7, os processamentos da segmentação realizados no ambiente PostGIS *Raster*; executados a partir da API *TA_Baatz_Segmenter_PostGIS*, e de Experimentos de 8 a 10 para os dados obtidos da segmentação no ambiente do InterIMAGE, via operador *TA_Baatz_Segmenter*. Os processamentos foram padronizados para serem calculados em blocos de tamanhos 10; otimização = *no*; confiabilidade = 0,2; e distância euclidiana relativa = 20.

Para a classificação, construiu-se, no programa InterIMAGE 1.43, uma rede semântica com base nas classes definidas por Antunes *et al.* (2018b). São elas, a saber: Amianto (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10); Vegetação (1 e 2); Rasteira; Sombra (1 e 2); Solo_Exposto (1, 2 e 3); Cerâmica clara (1 e

2); Pavimento de Concreto (1 e 2); Piscina; Asfalto (1, 2 e 3); Cerâmica Escura (1 e 2); Metálica (1, 2 e 3); e Não_Classificado. Adotaram-se também as regras das classificações de Antunes *et al.* (2018b) para cada classe. Após esta etapa, foi realizada uma reclassificação por meio da edição manual dos dados para corrigir eventuais falhas do mapeamento das classes.

Em cada classe foram selecionados e exportados atributos. Optou-se pelos mesmos de Antunes (2015) que foram: *compactity*, *angle*, *squariness*, *circleness*, *brightness*, *entropy*, *maxpixelvalue*, *mean*, *minpixelvalue*, *ratio* e *bandmeandiv*. Os dados foram inseridos manualmente, em cada classe, por meio da janela *Node Editor*, no operador *Decision Rule for TopDown* do sistema InterIMAGE.

Na realização dos experimentos de segmentação da imagem, optou-se por selecionar o parâmetro de escala que apresentassem as melhores diferenças visuais significativas no tamanho e na forma dos objetos obtidos, referentes às classes definidas. Segundo Pratt *et al.* (2007), os resultados de segmentação, embora aprovados em experimentos quantitativos, não serão expressivos se não satisfizerem a análise visual, que é o princípio mais autêntico e experiente para a avaliação das técnicas de segmentação.

3 Resultados e Discussões

Os valores apresentados nas Tabelas 1 e 2 referem-se aos processamentos realizados no ambiente PostGIS *Raster*; executados a partir da

API *TA_Baatz_Segmenter_PostGIS*. Na utilização do operador *TA_Baatz_Segmenter_PostGIS*, ficaram definidos os valores de similaridade para os experimentos realizados, no padrão fornecido pela TerraLib 5.2.2 que é de 0,03. Na determinação dos parâmetros de segmentação, foram estabelecidos os seguintes parâmetros de escala: 60, 70 e 100, seguidos dos critérios de cor e compacidade definidos como 0,5.

Os tempos de processamento dos experimentos realizados (Tabelas 1 e 2) consideraram diferentes tamanhos de imagens, variados tamanhos dos *tiles* e as parametrizações dos atributos para segmentação apresentaram-se com valores distintos. Esses resultados de tempos de processamentos estão relacionados aos tamanhos das imagens processadas no PostGIS *Raster*, bem como em função do uso de memória e Unidade Central de Processamento (UCP) alocada para o processamento, além da disponibilização do equipamento para principalmente realizar esse processo. O tempo de processamento das segmentações está condicionado ao sistema de particionamento da representação do *raster* e vetores armazenados e/ou gerados, conjuntamente com a indexação espacial dentro do sistema de gerenciamento de banco de dados.

Na Tabela 3 encontram-se os parâmetros utilizados para a obtenção da segmentação no ambiente do InterIMAGE, via operador *TA_Baatz_Segmenter*. A segmentação no InterIMAGE é realizada somente com processamento e armazenamento dos resultados em disco rígido.

TA_Baatz_Segmenter_PostGIS	Imagem GeoEye-1 - Experimento 1	Imagem GeoEye-1 - Experimento 2	Imagem GeoEye-1 - Experimento 3	Imagem GeoEye-1 - Experimento 4
Escala	100	100	70	60
Cor	0,8	0,8	0,5	0,5
Compacidade	0,2	0,2	0,5	0,5
Número de bandas	4	4	4	4
Peso das bandas	1	1	1	1
Imagem em <i>pixels</i> (linhas x colunas)	19.404 x 21.360	19.404 x 21.360	19.404 x 21.360	19.404 x 21.360
Tamanho (MB)	3.080	3.080	3.080	3.080
<i>Tiles</i> armazenados no PostGIS em <i>pixels</i> (linhas x colunas)	2.048 x 2.048	1.024 x 1024	1.024 x 1.024	1.024 x 1.024
Linhas armazenadas na tabela <i>raster</i> do PostGIS	110	399	399	399
Tempo de processamento (s)	98.320	97.200	172.840	216.220
Tamanho do arquivo vetorial gerado (<i>shapefile</i>) (GB)	4,30	4,30	4,45	4,67

Tabela 1 Parâmetros de experimentos aplicados na API *TA_Baatz_Segmenter_PostGIS*.

TA_Baatz_Segmenter_PostGIS	Imagem GeoEye-1 – Parte – Experimento 5	Imagem GeoEye-1 - Parte - Experimento 6	Imagem GeoEye-1 - Parte - Experimento 7
Escala	100	70	60
Cor	0,5	0,5	0,5
Compacidade	0,5	0,5	0,5
Número de bandas	4	4	4
Peso das bandas	1	1	1
Imagem em <i>pixels</i> (linhas x colunas)	989 x 1560	989 x 1560	989 x 1560
Tamanho (MB)	9,68	9,68	9,68
<i>Tiles</i> armazenados no PostGIS em <i>pixels</i> (linhas x colunas)	1.024 x 1.024	1.024 x 1.024	1.024 x 1.024
Linhas armazenadas na tabela raster do PostGIS	2	2	2
Tempo de processamento (s)	190	170	179
Tamanho do arquivo vetorial gerado (shapefile) (MB)	14,4	17,1	18,5

Tabela 2 Parâmetros de experimentos aplicados no InterIMAGE – API TA_Segmenter_Baatz_PostGIS.

O processamento da segmentação, da rede semântica definida neste estudo, com a utilização do algoritmo *TA_Baatz_Segmenter* foi realizada com o operador TopDown. Aboud Neta *et al.* (2018) descreveram que o referido algoritmo opera com o

critério de equivalência para discriminar os objetos da imagem, com a diferenciação realizadas a partir da extração dos atributos cor e forma (Baatz & Schäpe, 2000).

TA_Segmenter_Baatz	Imagem GeoEye-1 Parte	Imagem GeoEye-1 – Parte – Experimento 8	Imagem GeoEye-1 – Parte – Experimento 9	Imagem GeoEye-1 – Parte – Experimento 10
Escala	70	100	70	60
Cor	0,5	0,5	0,5	0,5
Compacidade	0,5	0,5	0,5	0,5
Número de bandas	4	4	4	4
Peso das bandas	1	1	1	1
Imagem em <i>pixels</i> (linhas x colunas)	19.404 x 21.360	989 x 1560	989 x 1560	989 x 1560
Tamanho (MB)	3.080	9,68	9,68	9,68
Tempo de processamento (s)	Não há	38,14	41,04	48,42
Tamanho do arquivo vetorial gerado (shapefile) (MB)	Não há	17,8	29,0	36,0

Tabela 3 Parâmetros de experimentos aplicados no InterIMAGE 1.43 - TA_Segmenter_Baatz – processamento em disco.

Nas Figuras 3A, 3B e 3C estão representadas as segmentações obtidas na execução do operador *TA_Baatz_Segmenter_PostGIS* no ambiente do InterIMAGE e processadas no PostGIS *Raster*. Os segmentos apresentam-se mais detalhados em função da variação da escala e do parâmetro de similaridade definido para 0,03. As fronteiras dos *tiles* estão representadas pela linha amarela como delimitadores. A técnica desenvolvida realiza a leitura da tabela que contém os segmentos gerados na execução da codificação da segmentação proposta por

Baatz & Schäpe (2000) implementada na biblioteca Terralib 5.2.2, e que se encontram armazenados no PostgreSQL. Na chamada da função, os parâmetros de tamanhos dos *tiles* são repassados e os segmentos são particionados, obtendo-se como resultados, os registros armazenados em uma tabela que consideram os limites dos *tiles*, e os mesmos podem ser exportados para o disco para serem utilizados na classificação ou rotulação dos segmentos dentro das classes de interesse.

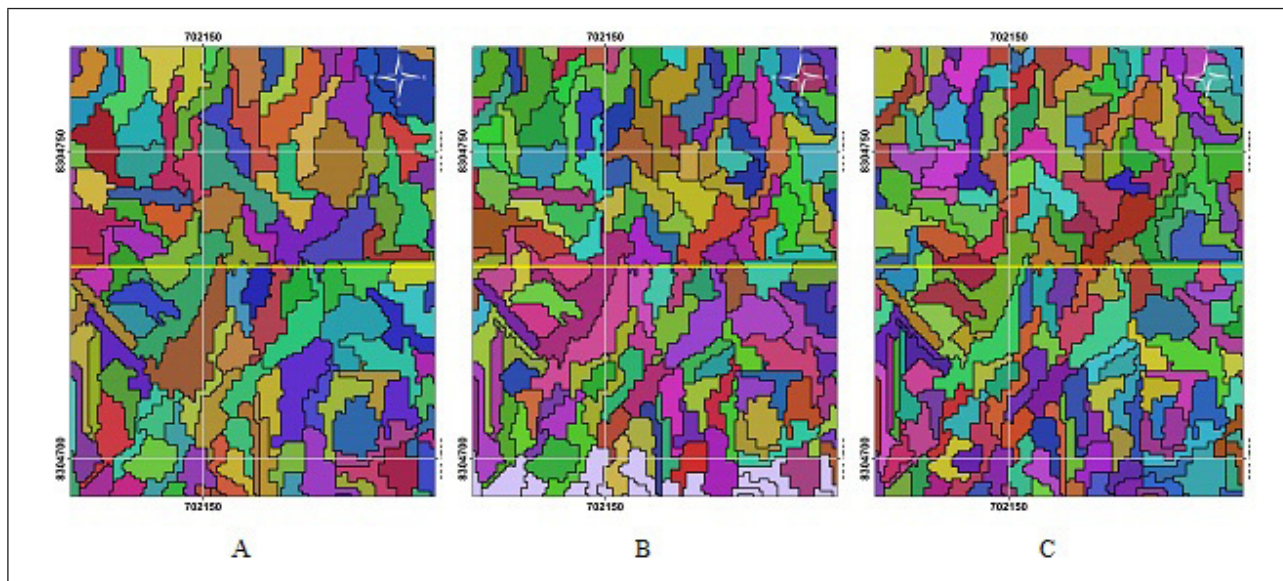


Figura 3 Segmentação no PostGIS *Raster* com os parâmetros: escala = 100, cor = 0,5 e compacidade = 0,5; A. Escala = 70, cor = 0,5 e compacidade = 0,5; B. Escala = 60, cor = 0,5 e compacidade = 0,5; C.

As Figuras 4A, 4B e 4C representam parte dos resultados das segmentações realizadas somente no InterIMAGE, utilizando-se o operador *TA_Baatz_*

Segmenter com variações de definições do fator escala. As linhas amarelas representam os limites das imagens recortadas em *tiles*.

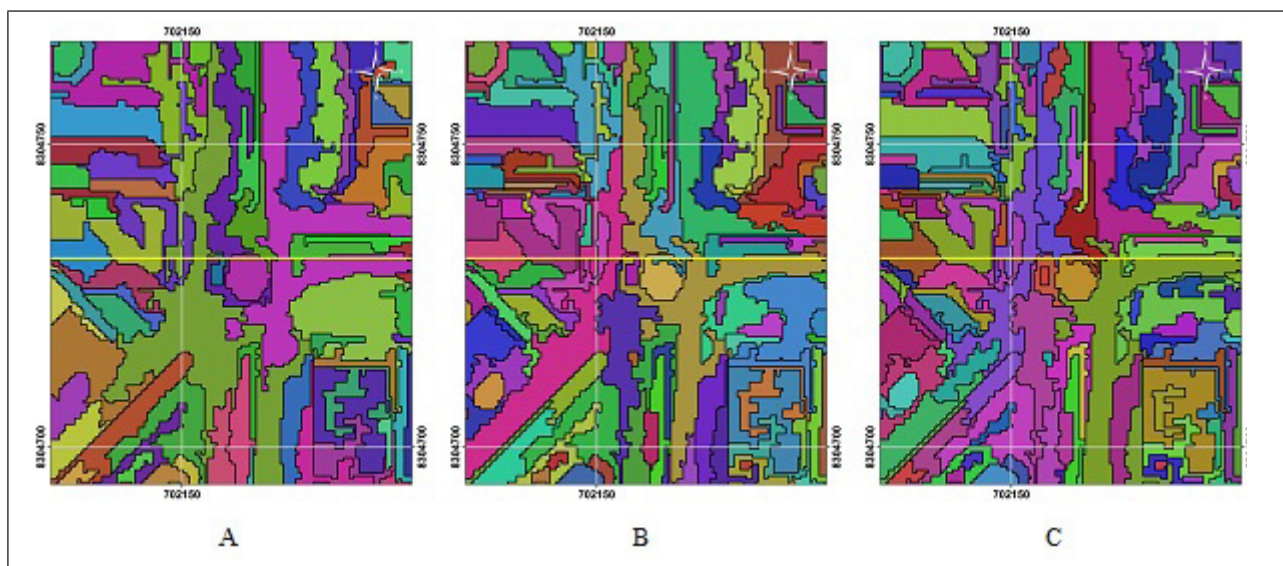


Figura 4 Recorte e segmentação no InterIMAGE com os parâmetros: escala = 100, cor = 0,5 e compacidade = 0,5; A. Escala = 70, cor = 0,5 e compacidade = 0,5; B. Escala = 60, cor = 0,5 e compacidade 0,5 (c).

Os resultados encontrados na segmentação no ambiente PostGIS *Raster* apresentaram mais objetos para a mesma área de *tile*, quando comparados com aqueles obtidos via segmentação no InterIMAGE, tendo-se os mesmos parâmetros definidos de escala, cor e compacidade. Essa ocorrência deve-se ao fato de que houve um incremento de parâmetro denominado de similaridade no código da segmentação de Baatz & Schäpe (2000), implementado na biblioteca TerraLib 5 em relação à codificação do segmentador

do InterIMAGE que é compilado com a biblioteca TerraLib 4.

As Figuras 5A e 5B demonstram, individualmente, os resultados de tempos de processamentos da segmentação no PostGIS *Raster*. A Figura 5C apresenta o tempo decorrido para o processamento, em segundos, da segmentação realizada somente no ambiente do InterIMAGE no operador *TA_Baatz_Segmenter*. O parâmetro escala foi o único que foi modificado nos três experimentos

(8, 9 e 10) (os parâmetros de cor e compacidade permaneceram como 0,5). Os tamanhos das imagens corresponderam a 989 pixels x 1.560 pixels. Todos os tempos decorridos nos experimentos derivaram dos valores de parâmetros escolhidos (escala, cor e compacidade), configuração de memória dedicada para a computação dos cálculos e disponibilidade de dedicação exclusiva do processador. Os maiores tempos de processamentos foram referentes às imagens que estavam armazenadas em *tiles* de tamanhos maiores e menores valores do parâmetro de escala. Os resultados mostraram que os valores menores nos tamanhos das imagens e valores maiores no parâmetro escala levam a tempos

menores de processamento.

As Figuras 6A, 6B e 6C apresentam os resultados da execução dos métodos implementados. A segmentação resultante teve, como limite, o tamanho da imagem original e os segmentos foram armazenados ou exportados nos tamanhos definidos pelos *tiles* da imagem armazenada. A Figura 6b representa a visualização de um *tile* da imagem e a sobreposição da segmentação gerada no PostGIS *Raster*. Para destacar os segmentos gerados denotam-se, na Figura 6C, dois *tiles* da imagem e a sobreposição das duas segmentações (delimitadas pelos mesmos *tiles*).

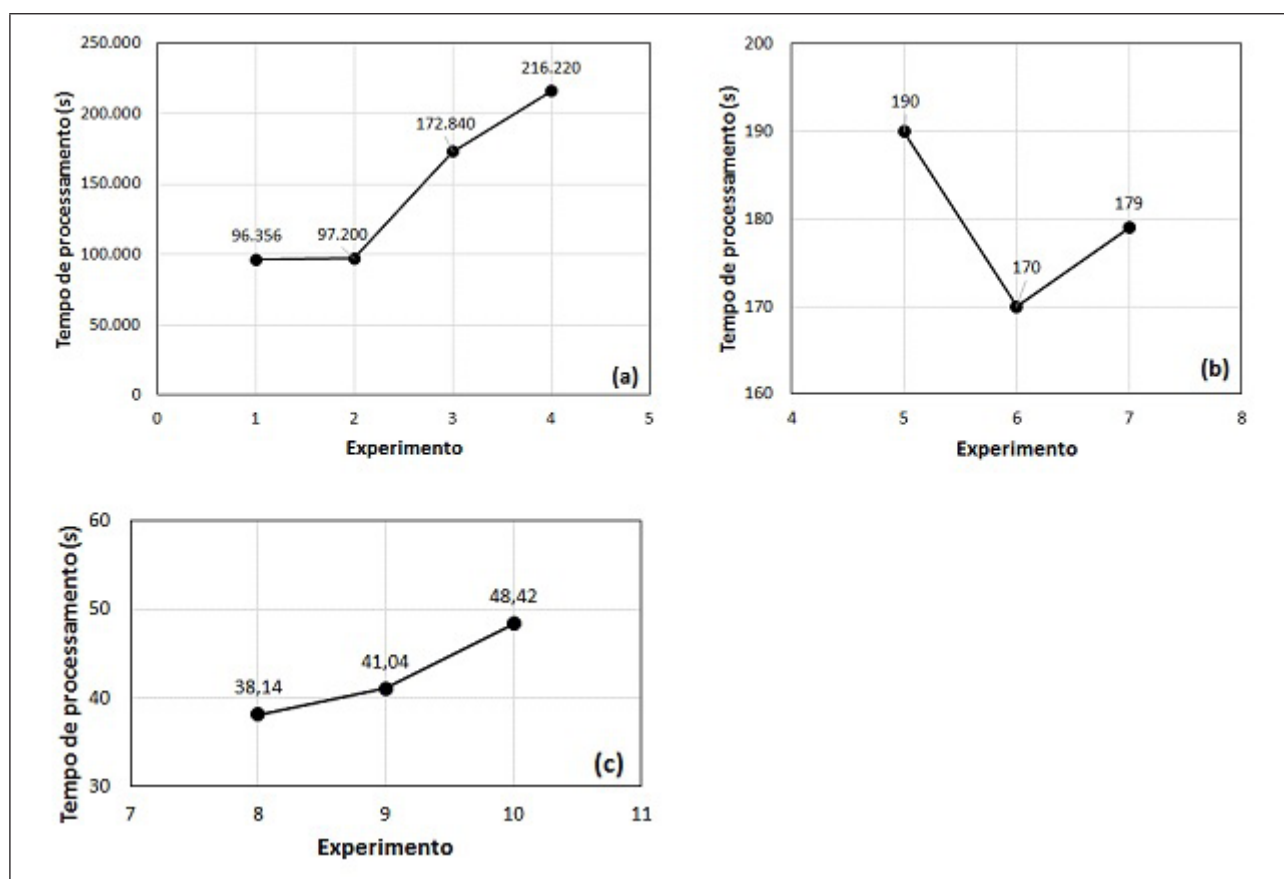


Figura 5 Tempo de processamento (em segundos) para os Experimentos 1 a 4; A. 5 a 7; B, e 8 a 10; C. Para detalhes dos experimentos, vide Tabelas 1 a 3.

Os resultados entre as segmentações obtidas pela API *TA_Baatz_Segmenter_PostGIS* (API com TerraLib 5.2.2) (Figura 3) e as do operador *TA_Baatz_Segmenter* (InterIMAGE com TerraLib 4) (Figura 4) indicam que precisam ser realizados mais testes a fim de se obterem resultados de segmentos mais próximos entre os operadores. Oliveira *et al.* (2003) e Schultz *et al.* (2016) apresentaram o uso do Índice de Avaliação da Segmentação (IAVAS) que pode ser utilizado para distinguir os melhores parâmetros de

uma segmentação relevante à classificação segundo o modelo OBIA, categorizando, desta forma, uma medida objetiva da segmentação. Schultz *et al.* (2016) demonstraram a capacidade do IAVAS em selecionar valores adequados dos parâmetros de uma segmentação.

A definição dos parâmetros de segmentação e os objetos gerados influenciam no resultado da classificação. As respostas dos resultados dos parâmetros dos experimentos realizados buscaram

a execução completa do processamento para a segmentação de grandes imagens de sensoriamento remoto no PostGIS *Raster*. Os experimentos incluíram uma imagem de 3 Gigabytes armazenada de forma fragmentada em *tiles*, sendo processada no PostGIS, conseguindo-se um tempo menor de processamento.

4 Conclusão

Os experimentos realizados comprovaram ser possível processar a segmentação, baseado no método de Baatz & Schäpe (2000), de imagens de alta resolução espacial no ambiente de gerenciamento de banco de dados PostgreSQL/PostGIS *Raster*, não introduzindo artefatos indesejáveis decorrentes do processamento no ambiente SGBD PostGIS *Raster*. A API proposta serviu de complemento para interação da biblioteca TerraLib 5.2.2 com o InterIMAGE 1.43 e com um novo modelo de integração baseado em banco de dados PostgreSQL, ampliando a disponibilidade de ferramentas aos usuários de *software* livre para construção e utilização de aplicativos de processamento digital de imagens.

O desenvolvimento da API *TA_Baatz_Segmenter_PostGIS* possibilitou processar a segmentação segundo o conceito de Baatz & Schäpe (2000), configurando o armazenamento de imagem de alta resolução espacial em sistema gerenciador de banco de dados geográficos. A *interface* implementada fornece, via *driver*, o acesso aos dados *raster*, e com passagem de parâmetros para execução da segmentação, bem como os mecanismos de acesso de usuário e senha.

A API respondeu ao processamento de arquivos *raster* de tamanhos superiores a 3.000 pixels x 3.000 pixels através de acionamento no ambiente do InterIMAGE 1.43, bem como à passagem de parâmetros como similaridade, compacidade, escala, cor e processamento do *raster* armazenado em *tiles* definidos pelo usuário.

A TerraLib 5.2.2 possibilitou a interação com novos componentes, sendo utilizados diretamente como objetos. Esta biblioteca tem uma funcionalidade ampla para análises espaciais integradas e os experimentos realizados demonstraram a possibilidade de realização completa da segmentação de dados *raster* de tamanhos de arquivos superiores a 3 GB no sistema

gerenciador de banco de dados.

A possibilidade do PostgreSQL/PostGIS *Raster* armazenar imagens particionadas e em multirresolução permitem que o sistema gerenciador de banco de dados geográficos possa ser acessado por aplicações *desktop*, *web* ou aplicações multi-usuários.

Os tempos de processamento ficaram condicionados às variações dos parâmetros de escala, cor, compacidade, tamanhos das divisões da imagem em *tiles* e padronizações das variáveis de processamento, resultando em valores significativos em relação ao tempo de execução da API.

Finalmente, os métodos desenvolvidos encontram-se alinhados com o funcionamento do InterIMAGE 1.43 e podem ser acoplados como operadores externos. Salienta-se que a abordagem proposta foi implementada com ferramentas de código aberto, possibilitando uma base para colaboração científica e em pesquisas.

5 Referências

- About Neta, S. R. A.; Bias, E. S. & Santos, C. A. M. 2018. Classificação baseada em objetos e mineração de dados. Aplicação de ferramentas *open source* no mapeamento de área urbana. *Revista Brasileira de Cartografia*, 70(3): 932-966.
- Antunes, R. R.; Souza, E. S.; Brites, R. S. & Costa, G. A. O. 2015. Desenvolvimento de técnica para monitoramento do cadastro urbano baseado na classificação orientada a objetos. Estudo de caso: município de Goianésia - GO. *Revista Brasileira de Cartografia*, 67(2): 357-372.
- Baatz, M. & Schäpe, A. 2000. *Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation*. In: *Angewandte Geographische Informations Verarbeitung*, p. 12-23. Wichmann-Verlag, Heidelberg. Disponível em: <http://www.ecognition.com/sites/default/files/405_baatz_fp_12.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2018.
- Blaschke, T. 2010. Object-based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1): 2-16.
- Blaschke, T. & Strobl, J. 2001. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *GeoBIT*, 6(6): 12-17.
- Blaschke, T.; Lang, S. & Hay, G. J. 2008. *Object based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Lecture Notes in Geoin-

- formation and Cartography. Springer-Verlag, Berlin, 818 p.
- Blaschke, T.; Hay, G. J.; Kelly, M.; Lang, S.; Hofmann, P.; Addink, E.; Feitosa, R. Q.; Meer, F. V. D.; Werff, H. V. D.; Coillie & F. V. & Tiede, D. 2014. Geographic object-based image analysis—towards a new paradigm. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87: 180-191.
- Chubey, M. S.; Franklin, S. E. & Wulder, M. A. 2006. Object-based analysis of Ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(4): 383-394.
- Costa, G. A. O. P.; Feitosa, R. Q.; Fonseca, L. M. G.; Oliveira, D. A. B.; Ferreira, R. S. & Castejon, E. F. 2010. Knowledge-based interpretation of remote sensing data with the InterIMAGE system: major characteristics and recent developments. *Proceedings of the 3rd GEOBIA*.
- DEFINIENS IMAGING. 2016. *eCognition*. Disponível em: <<http://www.ecognition.com/>>. Acesso em: 03/10/2016.
- Espíndola, G. M. & Câmara, G. 2007. Ajuste de parâmetros no algoritmo de segmentação de imagens do software eCognition®. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis, SC. *Anais...* São José dos Campos: INPE, p. 5739-5744.
- Hay, G. J. & Castilla, G. 2008. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. In: Blaschke, T.; Lang, S. & Hay, G. (Eds.), *Object Based Image Analysis*. Nova York, Springer, p. 93-112.
- INTERIMAGE. InterIMAGE – Interpreting images freely. Desenvolvido por Laboratório de Visão Computacional da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2009. Disponível em: <http://www.lvc.ele.pucrio.br/projects/interimage/>. Acesso em: 03 out. 2016.
- Novack, T. & Kux, H. J. H. 2010. Urban land cover and land use classification of an informal settlement area using the open-source knowledge-based system InterIMAGE. *Health, Risk & Society*, 55(1): 23-41.
- Oliveira, J. C. & Formaggio, A. R.; Epiphany, J. C. N.; Luiz, A. J. B. 2003. Index for the evaluation of segmentation (IAVAS): An application to agriculture. *Mapping Sciences and Remote Sensing*. 40(3): 155-169.
- POSTGIS. PostGIS Manual. Disponível em: <<http://postgis.net/docs/>>. Acesso em: 20 jul. 2018.
- Sample, J. R. & Ioup, E. 2010. Image tile creation. In: Sample, J. R. & Ioup, E. (eds.) *Tile-Based Geospatial Information Systems*. Nova York, Springer, p. 81-95.
- Schultz, B.; Formaggio, A. R.; Eberhardt, I. D. R.; Sanches, I. D. A.; Oliveira, J. C. & Luiz, A. J. B. 2016. Classificação orientada a objetos em imagens multitemporais Landsat aplicada na identificação de cana-de-açúcar e soja. *Revista Brasileira de Cartografia*, 68(1): 131-146.
- TERRALIB. 2017. *TerraLib and TerraView Wiki Page*. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terralib5/>>. Acesso em: 16 jan. 2017.
- Zhong, C.; Zhongmin, Z.; Dongmei, Y. & Renxi, C. 2005. Multi-scale segmentation of the high resolution remote sensing image. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, IGARSS 2005, Seoul, 2005. *Proceedings*, IEEE, p. 3682-3684.