

## Extração de contornos aproximados de telhados de edifícios a partir de dados de varredura a laser

Antonio Juliano Fazan <sup>1</sup>  
Aluir Porfírio Dal Poz <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP  
Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas  
ajfazan@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Cartografia  
aluir@fct.unesp.br

**ABSTRACT.** This paper presents a methodology to extract approximate building roof contours existing in digital surface models (DSM) generated from airborne laser scanning data. Firstly, a DSM is generated by using the Delaunay triangulation technique, which produces a model organized as a Triangulated Irregular Network. Then, a connected component analysis conjugated with a thresholding procedure is applied to the DSM, in order to separate building roofs from other regions in the DSM. The connected component analysis allows the faces of a triangulation to be labeled according to well-defined adjacency and similarity criteria and, so, to define a set of equivalency classes (in this case described by sets of faces from the triangulation), which correspond to different regions in the DSM. Finally, the approximate building roof contours are extracted by finding the edges of the triangulation defined by the intersection between the extreme faces that describe the roof region and the ones correspondent to the building walls. The proposed methodology was evaluated by performing experiments using laser scanning data. The obtained results were quite satisfactory, since approximated building roof contours were extracted from the DSM. Those results will be hereafter used as a basic input for starting a method for building roof contours extraction from high resolution aerial images and airborne laser scanning data.

**Palavras-chave:** laser scanning, Delaunay triangulation, connected component analysis, varredura a laser, triangulação de *Delaunay*, análise de componentes conexos.

## 1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos que permitiram a integração de modernos sensores para a coleta de dados da superfície terrestre possibilitaram o surgimento de avançados sistemas de mapeamento, como é o caso dos sistemas aerotransportados de varredura a laser. De fato, atualmente estes sistemas permitem a coleta de grandes volumes de dados com elevada acurácia planialtimétrica. Conseqüentemente surgiram muitas aplicações envolvendo reconstrução de superfícies e extração de feições cartográficas para esses dados. Tais aplicações implicam na solução de problemas específicos envolvendo segmentação, classificação e filtragem de objetos (malha viária, edificações, vegetação etc.) para a geração de modelos digitais do terreno (MDT) e de superfície (MDS). Também têm sido bastante difundidas as aplicações que combinam dados de varredura a laser com dados de outros sensores (imagens aéreas e de satélite) para possibilitar a extração semi-automática ou mesmo automática, de forma acurada e confiável, de objetos como edifícios e malha viária.

O problema específico de extração de edifícios usando dados de varredura a laser vem ganhando impulso nos últimos anos, fato evidenciado pela vasta literatura já produzida no assunto. Uma classificação possível para os métodos existentes é a que considera o tipo de dado de entrada (RUTZINGER *et al.*, 2006), podendo-se identificar três grupos principais: 1 – malha irregular de pontos gerados a partir do processamento dos dados originais fornecidos pelo sistema de varredura a laser; 2 – modelos digitais de elevação (MDE), obtidos pela

regularização da malha irregular de pontos; 3 – combinação de dados de varredura a laser com dados de outros sensores ou informações georreferenciadas.

A principal vantagem em se utilizar os dados irregulares é o fato de se dispensar a utilização dos métodos de interpolação para a regularização da malha, evitando dessa forma a inserção de erros nos modelos produzidos. Por outro lado, métodos mais complexos e sofisticados devem ser utilizados para o tratamento dos dados irregularmente distribuídos. Já o uso de grades regulares tem a vantagem de possibilitar a aplicação direta de métodos convencionais de análise de imagem. Por exemplo, em Galvanin *et al.* (2007) é proposta uma metodologia baseada em técnicas de divisão recursiva e fusão bayesiana para segmentar um MDS derivado de dados de varredura a laser em regiões de alturas homogêneas. Em Galvanin *et al.* (2008), essa metodologia é estendida com o objetivo de extrair automaticamente os contornos de telhado de edifícios presentes no MDS gerado a partir dos dados de varredura a laser.

A combinação de dados de sistemas de varredura a laser com outros dados, sejam estes de imagem ou georreferenciados, vem sendo explorada com frequência. Na sequência, alguns exemplos são apresentados. Tendo em vista a maior facilidade em se identificar vegetação em imagens multiespectrais, através de métodos como a classificação através de índices de artificialidade, Haala e Brenner (1999) combinaram esse tipo de imagem com MDE's derivados de dados de varredura a laser para separar edifícios e vários tipos de vegetação. Sohn (2004) procedeu de forma semelhante para extrair edifícios. Sohn e Dowman (2001) descreveram um método automático para a extração de edifícios a partir da combinação entre imagens multiespectrais do satélite IKONOS e MDE's derivados de dados laser. Em Vosselman (2001), é encontrada uma estratégia para reconstrução de edifícios usando dados de varredura a laser combinados com dados georreferenciados e imagens aéreas de alta resolução. Nessa estratégia, as plantas baixas dos edifícios são obtidas a partir dos dados georreferenciados e utilizadas como referência para a construção de superfícies poliedrais representando os edifícios. As bordas dos telhados são refinadas com base nas imagens aéreas. Dal Poz *et al.* (2009) apresentam um método para o refinamento geométrico de contornos de telhados de edifícios com base em imagens aéreas de alta resolução e modelos de campo aleatório de Markov. O refinamento dos contornos é realizado a partir de poliedros 3D (representativos dos telhados de edifícios) extraídos com base em dados de varredura a laser.

Este trabalho apresenta uma metodologia para extração de contornos aproximados de telhados de edifícios, a partir de modelos digitais de superfície em formato TIN derivados de dados de varredura a laser aerotransportado. A estratégia foi avaliada com dados reais e os resultados obtidos são apresentados e discutidos na Seção 3.

## 2 METODOLOGIA

A Figura 1 ilustra o fluxograma da metodologia apresentada neste trabalho.

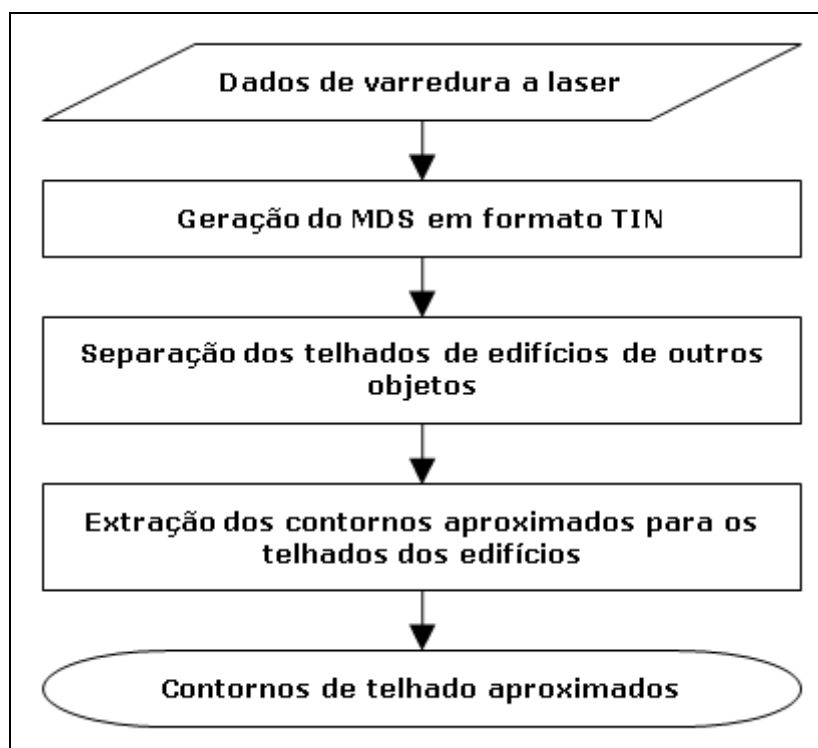


Figura 1 – Fluxograma da metodologia proposta.

A metodologia para extração de contornos aproximados de telhados de edifícios a partir de um MDS (em formato TIN) derivado de dados de varredura a laser é baseada nas seguintes etapas:

1. **Geração do MDS:** A geração do MDS é realizada através da técnica de triangulação de *Delaunay*, o que produz um modelo em formato TIN. Para tanto, é utilizado o algoritmo implementado na biblioteca de classes *CGAL (Computer Geometry Algorithms Library)* codificado em linguagem C++;
2. **Separação dos telhados dos edifícios de outros objetos:** Nesta etapa é realizada uma análise de componentes conexos combinada com uma limiarização para segmentar o TIN em regiões de alturas homogêneas. O objetivo nesta etapa é separar as regiões altas (correspondentes a telhados ou a segmentos de telhados de edifícios) das demais regiões (correspondentes a outros objetos) do MDS;
3. **Extração dos contornos aproximados:** Após a separação dos telhados de edifícios, é empregado um algoritmo para extrair os contornos aproximados destes objetos. Esse algoritmo utiliza as faces da triangulação correspondentes ao telhado de um edifício como base para a extração de seu contorno aproximado, que é formado pelas arestas de triangulação definidas pela interseção entre as faces extremas que definem o telhado e aquelas correspondentes às paredes do edifício. O algoritmo realiza uma busca sequencial através dessas arestas até encontrar todos os pontos que definem o contorno aproximado do telhado.

As seções seguintes trazem maiores detalhes a respeito da estrutura de representação TIN, além da técnica de triangulação de *Delaunay* e análise de componentes conexos, nas quais é baseada a metodologia proposta.

## 2.1 Rede irregular de triângulos – TIN

A representação de um MDS através de uma rede irregular de triângulos é particularmente adequada quando a fonte de dados utilizada para produzir o modelo gera uma

malha irregular de pontos de elevação, como é o caso, por exemplo, dos sistemas aerotransportados de varredura a laser. Uma de suas principais vantagens é que a representação TIN evita os erros de interpolação para uma grade regular quando a fonte de dados é constituída por uma malha irregular de pontos.

A representação de um MDS através de uma estrutura TIN também é mais eficiente em termos de armazenamento dos dados, uma vez que apenas pontos de elevação necessários (significativos) para modelar a superfície – com certo nível de acurácia – são armazenados. De fato, em uma estrutura TIN um número bem menor de pontos é utilizado para representar a superfície com o mesmo nível de acurácia de uma grade regular mais densa (MIKHAIL *et al.*, 2001). Entretanto, a estrutura de dados para a representação de um TIN é muito mais complexa que a de uma grade regular e requer o armazenamento das coordenadas  $(X, Y, Z)$  de todos os pontos da malha irregular, além do uso de algoritmos mais complexos para a geração e para a extração de informações a partir dos modelos.

Em uma estrutura TIN, os pontos da malha irregular são conectados de modo a formar triângulos com alguma propriedade bem definida. Estes triângulos possuem faces planas inclinadas no espaço tridimensional, sendo que cada aresta (lado formado pela conexão de dois vértices) possui uma inclinação uniforme. O sistema de triângulos formado é topologicamente organizado de modo a produzir a estrutura de representação TIN (WOLF e DEWITT, 2000).

## 2.2 Triangulação de *Delaunay*

Para a geração de um MDS na forma de uma estrutura TIN, o algoritmo mais comumente utilizado é a triangulação de *Delaunay*, que produz um conjunto de triângulos topologicamente organizados que atendem à seguinte propriedade: o círculo passante pelos três vértices de um triângulo não contém nenhum vértice de outro triângulo.

Modelos em formato TIN permitem a inclusão de feições lineares denominadas linhas de quebra. Estas feições são utilizadas para representar descontinuidades abruptas da superfície modelada. No caso de um TIN, segmentos de uma linha de quebra formam os lados de dois triângulos adjacentes e não interceptam nenhuma outra linha.

## 2.3 Análise de componentes conexos

A análise de componentes conexos (também denominada rotulação de componentes conexos) é de extrema importância na análise automática de imagens. No domínio de uma imagem, um componente conexo de um subconjunto  $S$  de pixels da imagem é definido pelos pixels em  $S$  que estão conectados a um dado pixel  $p$  de  $S$  (GONZALES e WOODS, 2000). Como pode ser observado, para a rotulação de componentes conexos em uma imagem, é necessário verificar se conjuntos de pixels estão conectados entre si, o que implica em estabelecer critérios de adjacência e similaridade entre eles.

O conceito de componentes conexos pode ser estendido também para redes irregulares de triângulos que representam um modelo digital de superfície. Para tanto, é necessário o estabelecimento de relações de conectividade entre as faces que definem essa triangulação. Uma das relações que pode ser empregada baseia-se nos seguintes critérios: 1) duas faces  $f_1$  e  $f_2$  de uma triangulação são conectadas se elas são adjacentes, ou seja, se  $f_1$  e  $f_2$  forem vizinhas e; 2) se uma ou mais propriedades de  $f_1$  e  $f_2$  satisfizerem a critérios de similaridade previamente estabelecidos. Detalhes sobre o algoritmo que realiza a análise de componentes conexos utilizada no presente trabalho podem ser encontrados em Fazan *et al.* (2010).

### 3 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

Para avaliar experimentalmente a metodologia proposta neste trabalho, foram realizados experimentos com dados reais correspondentes a segmentos de uma malha irregular de pontos tridimensionais obtidos através do uso de um sistema de varredura a laser aerotransportado. Os segmentos utilizados contêm um ou mais edifícios, bem como regiões vizinhas a eles. A seguir são apresentados os resultados obtidos em três dos experimentos realizados.

A Figura 2 ilustra o resultado obtido no primeiro experimento descrito. Na Figura 2(a) é apresentada a projeção do contorno aproximado extraído para o telhado do edifício através do método apresentado neste trabalho. Já a Figura 2(b) ilustra a projeção do contorno aproximado extraído, simplificado através do algoritmo *Douglas-Peucker* para simplificação de linhas poligonais (DOUGLAS e PEUCKER, 1973).

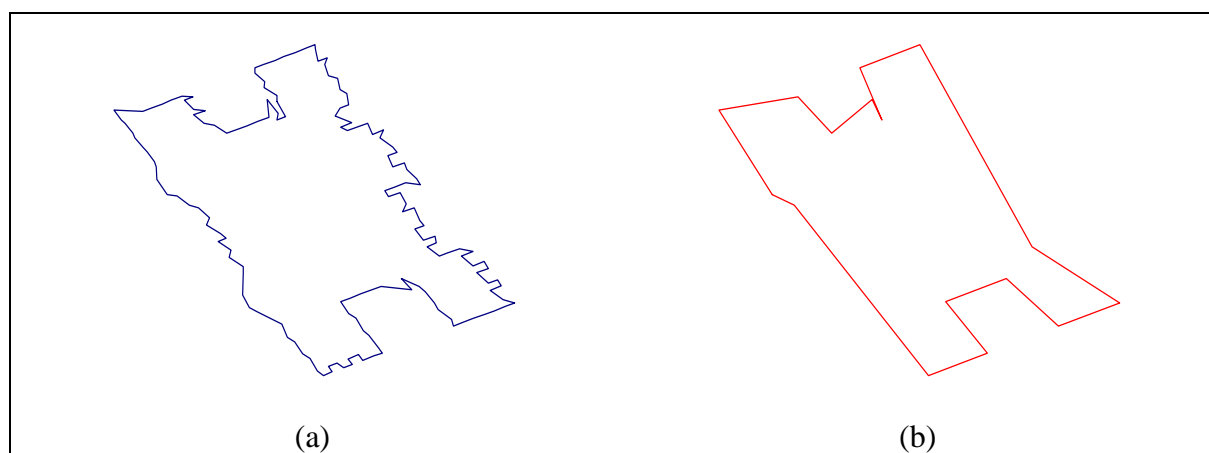


Figura 2 – Resultados obtidos para o primeiro experimento: (a) projeção do contorno de telhado aproximado extraído para o edifício avaliado; (b) projeção do contorno simplificado através do algoritmo *Douglas-Peucker*.

O contorno ilustrado pela Figura 2(a) apresenta uma geometria descrita pela conexão de múltiplos segmentos de reta, correspondentes às arestas da triangulação (MDS-TIN) definidas pela interseção entre as faces que descrevem o telhado e as que definem as paredes do edifício. A baixa qualidade geométrica dos contornos é inerente aos dados de varredura a laser e resultante do padrão de varredura do sistema.

As Figuras 3 e 4 ilustram, respectivamente, os resultados obtidos no segundo e terceiro experimentos descritos nesta avaliação experimental do método proposto neste trabalho. Os resultados apresentados são similares aos obtidos no primeiro experimento. Nas Figuras 3(a) e 4(a) são mostradas as projeções dos contornos de telhado aproximados extraídos para os edifícios avaliados. Os correspondentes contornos simplificados através do algoritmo *Douglas-Peucker* são apresentados pelas Figuras 3(b) e 4(b). Em todos os experimentos foi possível verificar que a simplificação dos contornos ajuda a melhorar a aparência visual do resultado final. Para todos os casos em questão foi utilizada uma tolerância linear de 2m no algoritmo de simplificação. Por outro lado, foi verificado que ao se aumentar este valor, esse algoritmo tende a generalizar demasiadamente os contornos, degradando a qualidade dos resultados.

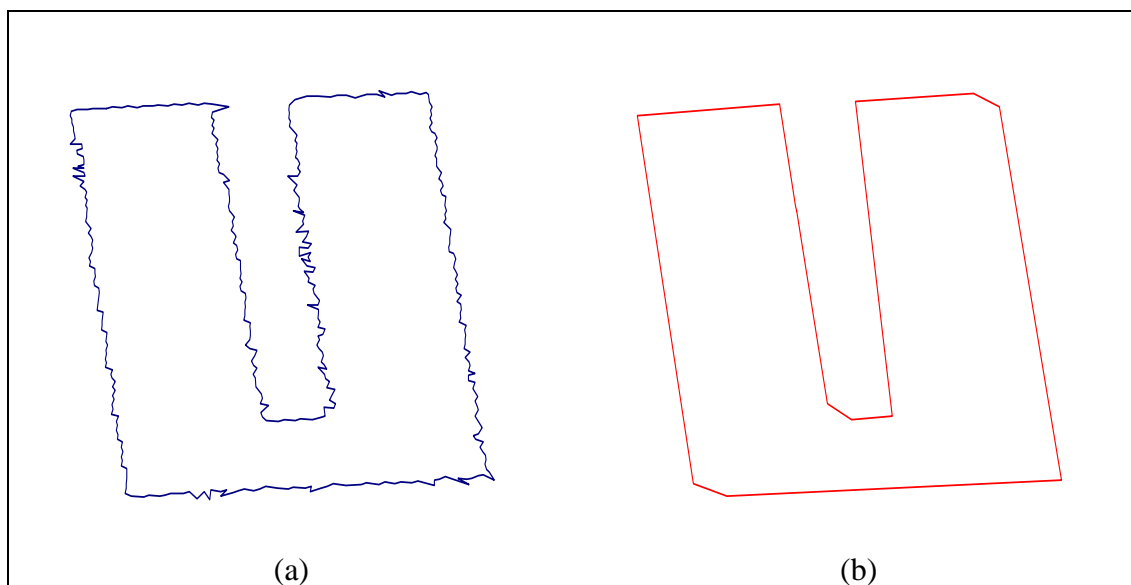


Figura 3 – Resultados obtidos para o primeiro experimento: (a) projeção do contorno de telhado aproximado extraído para o edifício avaliado; (b) projeção do contorno simplificado através do algoritmo *Douglas-Peucker*.

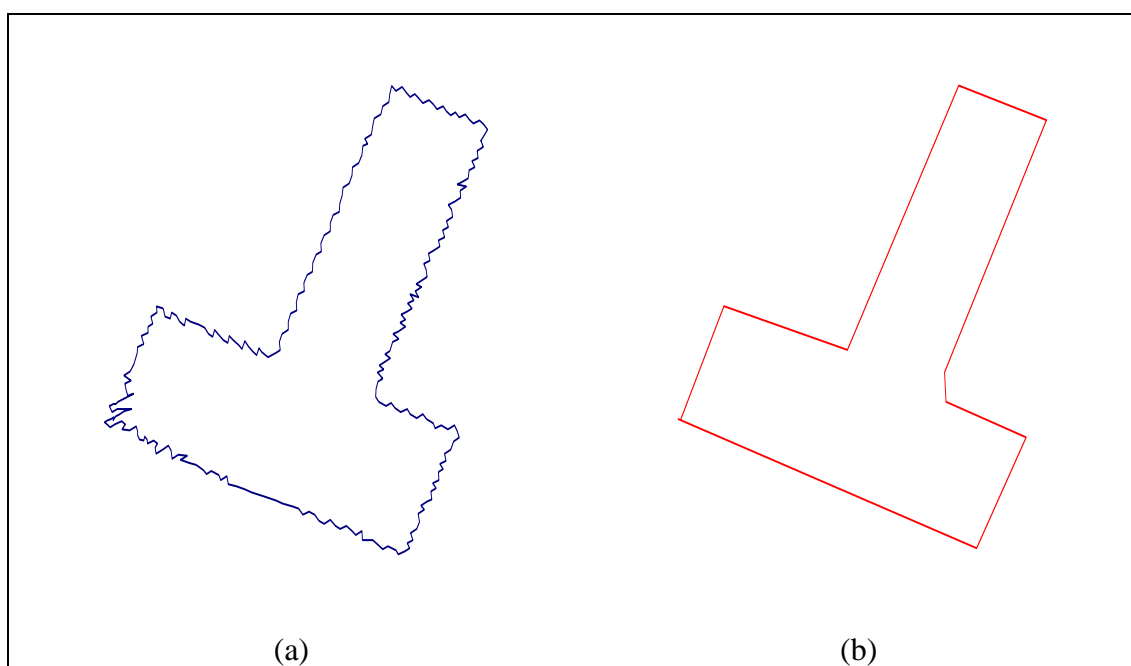


Figura 4 – Resultados obtidos para o primeiro experimento: (a) projeção do contorno de telhado aproximado extraído para o edifício avaliado; (b) projeção do contorno simplificado através do algoritmo *Douglas-Peucker*.

## CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma metodologia para extração de contornos aproximados de telhados de edifícios, a partir de modelos digitais de superfície em formato TIN derivados de dados de varredura a laser aerotransportado. Os resultados obtidos na avaliação experimental mostraram que o método trabalha adequadamente, extraíndo contornos aproximados que correspondem aos limites estabelecidos entre as paredes e os telhados dos edifícios. Este fato demonstra também que a estratégia utilizada para separar os telhados dos edifícios de outras

partes do MDS/TIN é robusta e eficiente, uma vez que a qualidade geométrica dos contornos extraídos depende diretamente da eficiência obtida na separação dos telhados, que são descritos por conjuntos de faces que representam estes objetos no MDS/TIN.

Futuramente, pretende-se utilizar os contornos aproximados fornecidos por esta metodologia para inicializar um método para extração direta no espaço-objeto de contornos de telhado de edifícios, a partir de imagens aéreas de alta resolução e dados de varredura a laser aerotransportado, atualmente em desenvolvimento. A ideia neste caso é refinar e adensar os contornos aproximados, com base em informações obtidas a partir das imagens aéreas e de modelos digitais de superfície em formato TIN derivados de dados de varredura a laser.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – pelos dados de varredura a laser utilizados nos experimentos realizados, bem como aos desenvolvedores da biblioteca CGAL, utilizada no desenvolvimento computacional do método proposto neste trabalho. Agradecimentos também à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – pela bolsa de doutorado do primeiro autor.

## REFERÊNCIAS

DAL POZ, A. P. *et al.* Uso de dados fotogramétricos no refinamento geométrico de contornos de telhados de edifícios extraídos de dados laser. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, n. 4, p. 594-614, out.-dez. 2009.

DOUGLAS, D.; PEUCKER, T. **Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature**. The Canadian Cartographer, v. 10, n. 2, p. 112-122, 1973

FAZAN, A. J.; DAL POZ, A. P.; OLIVEIRA, F. F. Separação de telhados de edifícios a partir de TIN/laser e análise de componentes conexos. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010. **Anais...** Refice, 2010. Artigos, CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-63978-00-4. Disponível em: <[http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO\\_CD/index.htm](http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/index.htm)>. Acesso em: 18 nov. 2008.

GALVANIN, E. A. S.; DAL POZ, A. P.; SOUZA, A. D. P. Extração automática de contornos de telhados usando dados de varredura a laser e campos randômicos de Markov. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 221-241, abr.-jun. 2008.

GALVANIN, E. A. S.; DAL POZ, A. P.; SOUZA, A. D. P. Segmentação de dados de perfilamento a laser em áreas urbanas utilizando uma abordagem bayesiana. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 13, n. 1, p. 76-90, jan.-jun. 2007.

GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000, 509 p.

HAALA, N.; BRENNER, C. Extraction of buildings and trees in urban environments. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 54, p. 130-137, 1999.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; McGLONE, J. C. **Introduction to modern Photogrammetry**. John Wiley & Sons, 2001. 479 p.

RUTZINGER, M.; HÖFLE, B.; GEIST, T.; STÖTTER, J. **Object-based building detection based on airborne laser scanning with GRASS GIS environment**. UDMS 2006: Urban Data Management Symposium, Aalborg, Dinamarca, 2006, CD-ROM.

SOHN, G. **Extraction of buildings from high-resolution satellite data and LIDAR**. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004, v. 35.

SOHN, G.; DOWMAN, I. J. **Extraction of buildings from high-resolution satellite data.** Automatic Extraction of Man Made Objects from Aerial and Space Images. 2001.

VOSELMAN, G.; DIJKMAN, S. **3D building model reconstruction from point clouds and ground plans.** International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing, 2001, v. 34.

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A. **Elements of Photogrammetry:** with applications in GIS. Boston: McGraw-Hill, 2000, 608 p.