

Aplicação do método de Otsu na separação de planos de telhados a partir de dados LIDAR

Henrique Cândido de Oliveira¹
Mauricio Galo²

Universidade Estadual Paulista – UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia / FCT/ Departamento de Cartografia²
CP 468 - CEP 19060-900, Presidente Prudente – SP, Brasil
henrique.cartografia@gmail.com¹
galo@fct.unesp.br

Abstract. The process of roof buildings separation from airborne LIDAR is used in different applications related to Photogrammetry and Remote Sensing. In this paper a semi-automatic method for extracting roof using data from LIDAR survey is presented. In this method the building's roof are separated on different plans that are formed. Firstly, based on a previous data, the region of interest (roof) is isolated in the LIDAR data and a triangular irregular network (TIN) is created. For each triangle the orientation is estimated based on the X, Y, Z and angular component of the unit normal vector. In spite of the LIDAR data have some noises, the triangles of each roof's plan have the same orientation, and consequently, the normal vectors will have the same orientation too. Based on this fact histograms are created for each components (X,Y,Z) and also for the angle of horizontal projection of the unit normal vector. By using these histograms it is possible to obtain the number of plans that form the roof and furthermore it is possible to determine the threshold necessary to separate each roof's face. These thresholds are determined by using Otsu method automatically from those histograms. The experiments performed in this study, using real data, indicate that this method is appropriate for simple roof separation, and it can be adapted for more complex roofs.

Palavras-chave: LIDAR, LASER, triangulação de Delaunay, Método de Otsu.

1. Introdução

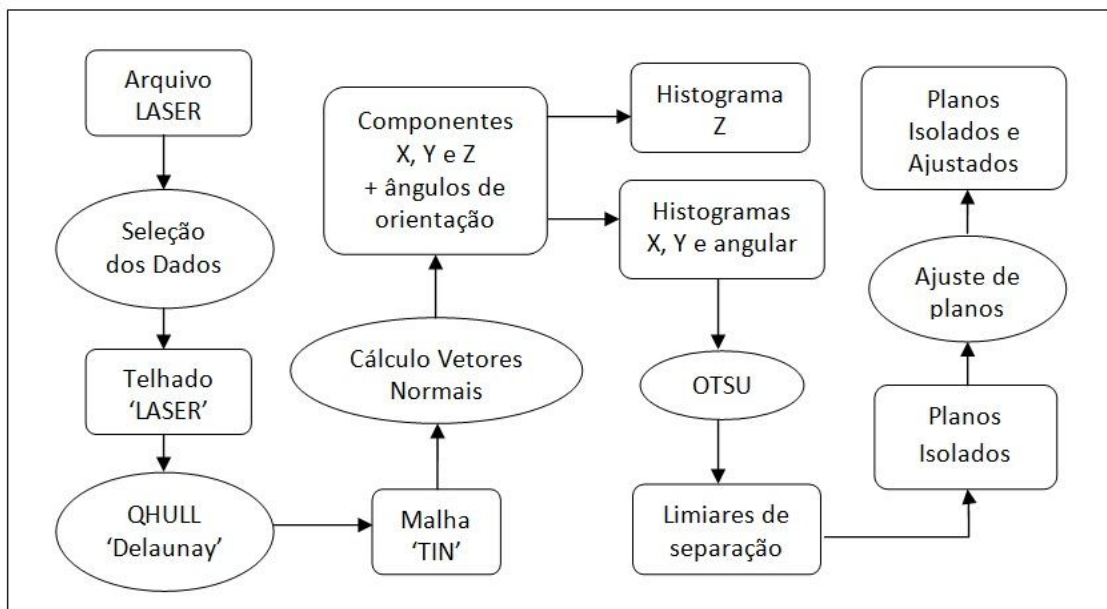
Com o recente avanço de tecnologias de varredura 3D é possível a aquisição, de forma rápida, de um conjunto denso de pontos, referente a diferentes tipos de feições (KARSLI e KAHYA, 2008). Como exemplo desse tipo de tecnologia pode-se mencionar os sistemas LIDAR (*Light Detection And Ranging*) - aerotransportados que são baseados na varredura por um sistema a LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), que fornece como resultado uma nuvem densa de pontos, com coordenadas tridimensionais conhecidas no espaço objeto. A acurácia posicional desses pontos depende de diversos fatores inerentes ao sistema, bem como da altura de voo, podendo ser obtidos valores menores que 30 cm em situações típicas, como pode-se notar em Brandalize (2004).

Utilizando esse conjunto de pontos, as edificações, bem como outros objetos presentes na cena, podem ser modelados, criando uma visualização 3D dessas feições. Essa modelagem pode ser usada em diversas aplicações como, por exemplo, na aquisição de pontos de apoio para fototriangulação, semelhante ao realizado por Mitishita et al. (2008).

Nesse contexto, o propósito deste trabalho é apresentar um algoritmo para realizar a separação das faces dos telhados de forma semiautomática, empregando os dados provenientes de um sistema de varredura a LASER. A fim de efetuar a separação das faces dos telhados e modelar as edificações, gera-se um TIN (*Triangular Irregular Network*) a partir da nuvem de pontos LASER, pelo critério de Delaunay. Na sequência, realiza-se a determinação dos vetores normais desses triângulos, seguida da separação das faces dos telhados, por meio de limiares obtidos automaticamente pelo método de Otsu.

2. Método adotado para a separação dos planos

A separação dos planos dos telhados das edificações, que é o propósito central deste trabalho, pode ser resumida pelo fluxograma apresentado na sequência.



Fluxograma 01. Resumo dos procedimentos efetuados para separação das faces dos telhados.

Antes da separação dos planos que compõem os telhados, deve ser feita a seleção de uma edificação, que pode ser de modo automático, semiautomático ou manual. Neste sentido, parte-se do pressuposto de que a região no entorno da edificação esteja previamente delimitada, sendo o processamento descrito no fluxograma realizado com base nesta informação. Em função dessa delimitação preliminar do contorno da edificação, o trabalho é classificado como sendo semiautomático, embora após esta fase o processamento se realize de maneira totalmente automática. Assim, tem-se como dado inicial uma nuvem de pontos LASER, referente ao telhado da edificação, denominado Telhado 'LASER' no fluxograma apresentado.

Após essa etapa, já com os dados pertencentes somente à edificação selecionada, é gerada a triangulação de Delaunay, com o uso do software QHULL (BARBER et al., 1996). Com isso, são calculados os vetores normais de cada triângulo gerado pela triangulação, bem como o ângulo horizontal referente à orientação de cada vetor normal. Esse ângulo (θ), utilizado na separação dos planos dos telhados, é definido no plano XY, contado no sentido anti-horário em relação ao eixo X. Esse eixo corresponde à componente E do sistema UTM e o ângulo define a orientação da projeção do vetor normal, no plano horizontal, como mostra a Figura 1.

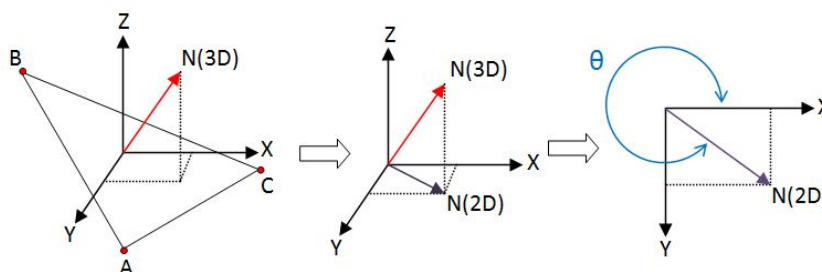


Figura1. Triângulo de Delaunay formado pelos pontos A, B e C; vetor normal ao triângulo e ângulo de orientação (θ) para o triângulo.

A partir das componentes X, Y, Z, bem como do ângulo θ de cada triângulo de Delaunay pode-se criar histogramas de frequência. Após análise destes histogramas é possível notar semelhanças entre os histogramas das componentes X, Y e θ , pois os planos dos telhados possuem orientações distintas. Na componente Z o mesmo não acontece de modo tão evidente, pois os telhados, em sua maioria, possuem os planos inclinados de forma análoga. Logo, as componentes Z dos vetores normais não contribuem efetivamente para a separação dos planos em grande parte das situações. Como o exemplo demonstrado na sequência (ver Figura 2a e 2b), em que os telhados estudados possuem dois planos de igual inclinação, os três histogramas mencionados (de X, Y e θ) caracterizam-se por serem bimodais. Logo, pode-se assumir que cada moda desses histogramas representa a característica (componente ou orientação) do conjunto de pontos que correspondem a cada um dos planos.

Para realizar a determinação de um limiar ideal de separação dos planos dos telhados pelo histograma de frequência, foi implementado o método de Otsu. A formulação de Otsu (1979) busca determinar um limiar ótimo k^* que maximiza a variância entre as classes, neste caso os planos dos telhados, conforme equação abaixo:

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{1 \leq k \leq i_{max}} \sigma_B^2(k) \quad (1)$$

onde,

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[\mu_T \cdot \omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k) \cdot [1 - \omega(k)]} \quad (2)$$

e μ_T = média de todo o histograma;

$\omega(k)$ = probabilidade de ocorrência da classe k;

$\mu(k)$ = média da classe adotando o limiar k.

Na Equação 1, conforme Otsu (1979), k representa os possíveis tons de cinza. No presente trabalho k (e também i_{max}) têm significados distintos para os diferentes histogramas. Para os relativos às componentes X e Y o valor de k varia no intervalo [-1:1] e, para o ângulo θ , no intervalo [0:360].

Uma vez determinados os valores de k^* , para os diferentes histogramas, os pontos na vizinhança desses limiares podem ser separados e as faces das edificações isoladas e, posteriormente, modeladas.

Com os pontos que constituem cada um dos planos isolados é possível realizar um ajuste a partir do MMQ (Método dos Mínimos Quadrados), seguido da eliminação de eventuais ruídos provenientes da varredura a LASER. A eliminação dos eventuais pontos espúrios pode ser realizada a partir do cálculo de distância entre cada ponto e o plano ajustado que forma cada face.

3. Experimentos, Resultados e Discussão

Nesta seção são descritos os experimentos e os resultados obtidos a partir da aplicação do procedimento executado para duas edificações. Ambas são compostas por dois planos, porém orientadas de modo diferente. A edificação “A” (Figura 2a) é orientada de forma oblíqua, aproximadamente 45° em relação ao norte da projeção UTM (projeção na qual os dados são disponíveis), enquanto a edificação “B” (Figura 2b), na horizontal, ou formando aproximadamente 90° em relação ao norte. Foram efetuados os dois experimentos a fim de

definir a melhor maneira de realizar a separação dos planos, seja pelo histograma das componentes X, Y ou angular.

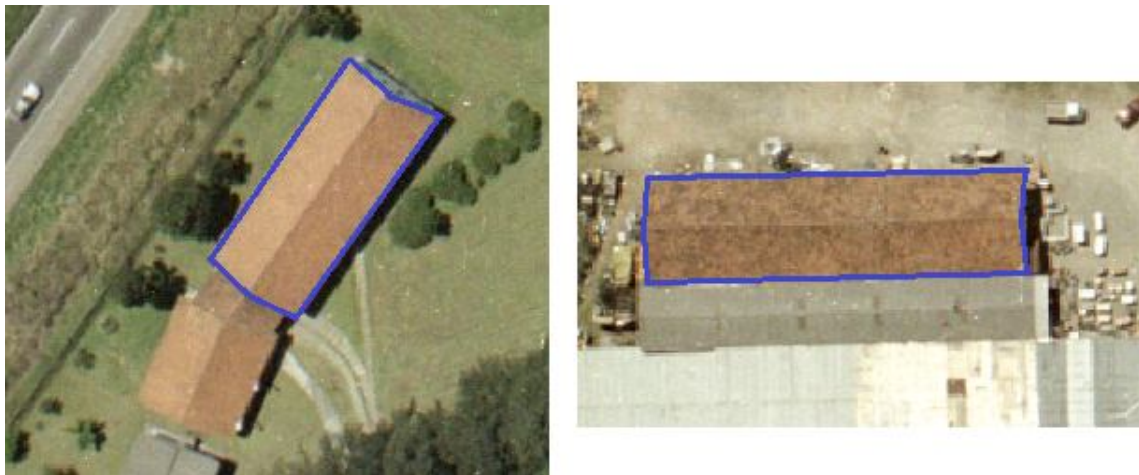


Figura 2. (a) Edificação orientada em 45 graus. (b) Edificação orientada horizontalmente.

Com base nos limites de cada edificação, pode-se separar os dados LASER disponíveis para cada edificação (Figura 3), e usar estes pontos como dados iniciais para a criação da rede TIN de cada edificação. Esse procedimento foi feito a partir de um programa em C/C++, desenvolvido neste projeto, que lê os dados das edificações e ativa o software de domínio público QHULL, criando a rede TIN, como mostra a Figura 4.

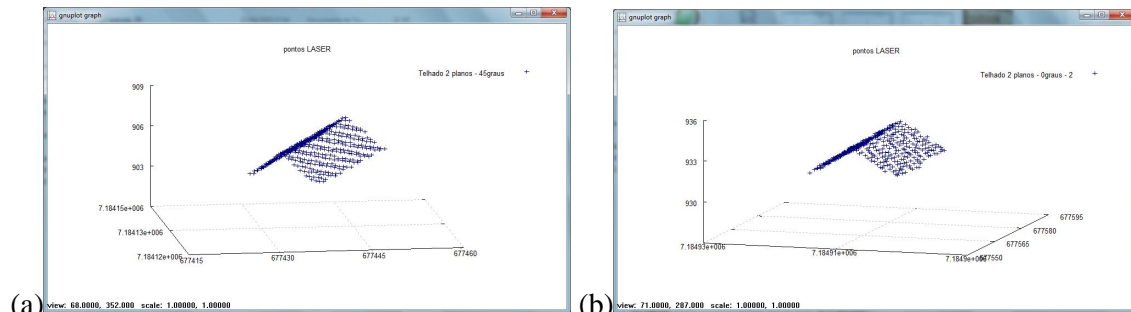


Figura 3. (a) Nuvem de pontos referente à edificação “A”. (b) Nuvem de pontos referente à edificação “B”.

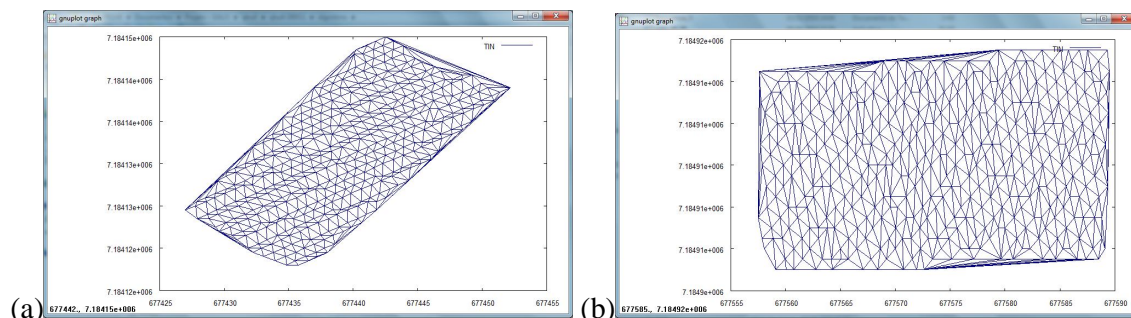


Figura 4. Rede TIN para as edificações “A” (em a) e “B” (em b).

É possível notar as diferentes orientações das feições ao comparar as nuvens de pontos e a triangulação dos telhados em relação aos eixos E e N de coordenadas.

Após a criação da rede de triângulos de Delaunay foram calculados os vetores normais a cada triângulo nela presente. O vetor normal é composto por três componentes (X, Y e Z), cujas magnitudes foram normalizadas e empregadas para criar os histogramas mencionados. Assim como as componentes citadas, também foram calculadas as orientações (ângulos) de cada vetor normal. Como explicado anteriormente, utilizou-se para análise apenas os histogramas referentes às componentes X, Y e angular. A seguir, são apresentados esses histogramas juntamente com o limiar obtido de modo automático pelo método de Otsu para cada caso.

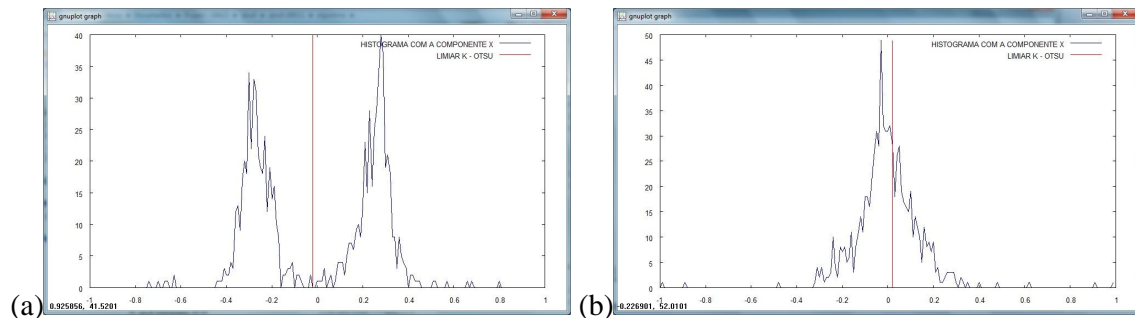


Figura 5. (a) Histograma da componente X para edificação “A”. (b) Histograma da componente X para a edificação “B”.

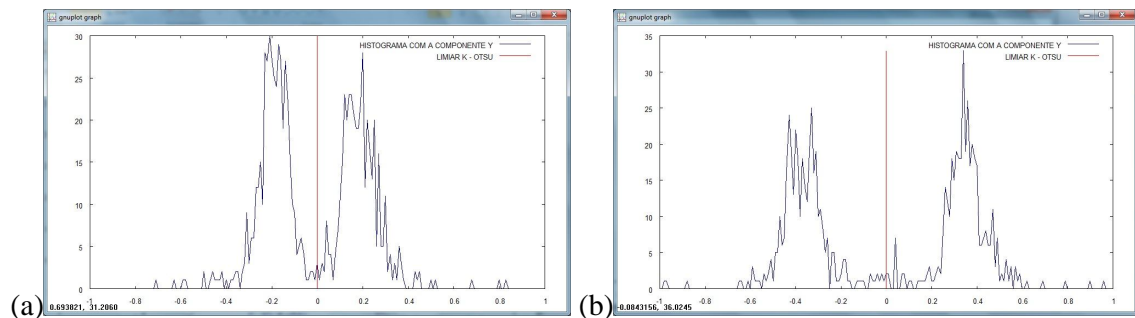


Figura 6. (a) Histograma da componente Y para edificação “A”. (b) Histograma da componente Y para a edificação “B”.

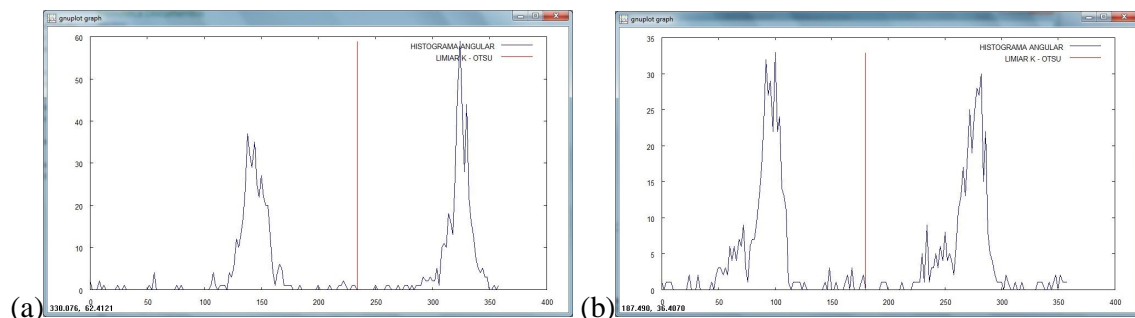


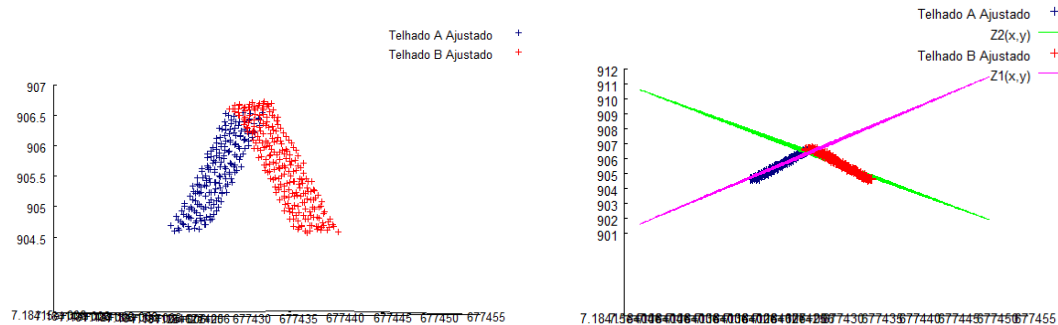
Figura 7. (a) Histograma da componente angular para edificação “A”. (b) Histograma da componente angular para a edificação “B”.

Como é possível notar, observando a Figura 5b, a feição orientada horizontalmente não fornece um histograma que permita a discriminação dos planos, pois refere-se à componente X. Como sua orientação é de aproximadamente 90° em relação ao norte, ou horizontal, a componente X terá valor próximo de zero, fazendo com que o histograma seja unimodal, impossibilitando a separação dos planos de forma imediata. O mesmo ocorreria para uma

feição orientada na vertical, porém o histograma que apresentaria essas características seria o referente à componente Y.

Apesar dos problemas oriundos das componentes X e Y, esse fator não é observado ao utilizar a componente angular de cada vetor normal aos triângulos de Delaunay, como se verifica na Figura 7. A partir dos histogramas dessa figura é possível notar até mesmo os ângulos θ para as duas edificações.

O resultado obtido pela separação dos planos dos telhados, pela componente angular, é mostrado na Figura 8, em que as cores distintas representam os diferentes planos.



(a) (b)
 Figura 8. (a) Nuvem de pontos classificada (dois planos). (b) Telhados ajustados com os planos para visualização.

4. Conclusões

O propósito deste trabalho foi realizar a separação dos pontos pertencentes a cada um dos planos que compõem o telhado, a partir da nuvem de pontos LIDAR obtidos por varredura a LASER, seguido da triangulação de Delaunay e da aplicação do Método de Otsu. Destaca-se como aspecto importante o uso do método de Otsu, que permite a determinação automática dos limiares. A utilização do histograma de frequência das componentes angulares mostrou-se a maneira mais eficiente de separar os planos dos telhados, ao comparar com o uso dos histogramas das demais componentes do vetor normal a cada triângulo.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e como extensão deste trabalho menciona-se a aplicação em telhados com mais de duas faces e a implementação do algoritmo de Otsu para mais de duas classes.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao **LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento** por fornecer os dados do perfilamento a LASER da região de Curitiba; ao Prof. Dr. **Edson Aparecido Mitishita**, da UFPR, por ceder as imagens ópticas da mesma região, assim como ao **CNPq/PIBIC**, pelo apoio na forma de bolsa de iniciação científica.

Referências Bibliográficas

Barber, C. B.; Dobkin, D. P.; Huhdanpaa, H. T., The Quickhull algorithm for convex hulls. **ACM Transactions on Mathematical Software**, 22(4):469-483, Dec 1996, <http://www.qhull.org>

Brandalize, A. A. Perfilamento a LASER: comparação com métodos Fotogramétricos. In.: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, **Anais ...** CD ROM, Porto Alegre, 2001.

Brandalize, M. C. B. **A qualidade cartográfica dos resultados do laserscanner aerotransportado**. Tese de Doutorado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - RS, 2004.

Calmon, A. T.; Müller, M.; Baungarten, A. P.; Feliz, D.; Martins, M. A. R. Tecnologia de Mapeamento Digital a Laser e suas Aplicações em Hidrologia Urbana. In.: **XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS: desafios à gestão da água no limiar do século XXI**, 2003, Curitiba. 23 - 27 Nov. 11p.

El-Sheimy, N. **Digital Terrain Modelling**. The University of Calgary, Geomatics Engineering Department, Calgary, 1999.

Habib, A. F.; Ghanma, M. S.; Morgan, M. F.; Mitishita, E. A. Integration of Laser and Photogrammetric Data for Calibration Purposes. In.: **XXth ISPRS CONGRESS**, Istanbul, Turkey, PS WG II/2 **Systems for SAR and LIDAR Processing**, 12 – 23 Jul., 2004.

Hofmann, A. D. Analysis of tin-structure parameter spaces in airborne laser scanner data for 3-D building model generation. In: **XXth ISPRS CONGRESS**, Istanbul, Turkey, 2004.

Karsli, F.; Kahya, O. Building Extraction From Laser Scanning Data. In: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Vol. XXXVII. Part B3b. Beijing, 2008.

Mitishita, E. A.; Habib, A.; Centeno, J.; Machado, A.; Lay, J. Photogrammetric and LIDAR data integration using centroid of a rectangular roof as a control point. **The Photogrammetric Record**, v. 23, n. 121, Mar., p. 19 – 35, 2008.

Otsu, N. A. Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. **IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics**, Vol. SMC-9, n. 1, Jan. 1979.