

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N° 68/3: 519-526
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE ÁREAS PLANAS EM TELHADOS DE EDIFICAÇÕES UTILIZANDO NUVEM DE PONTOS LIDAR

Automatic Detection of Flat Areas in the Building Roofs using LiDAR Point Cloud

Leonardo Ercolin Filho, Jorge Antonio Silva Centeno & Edson Aparecido Mitishita

Universidade Federal do Paraná – UFPR
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Caixa Postal 19001 - CEP 81531-980 - Curitiba PR - Brasil
{leonardo.ercolin, centeno, mitishita}@ufpr.br

Recebido em 18 de Abril, 2014/ Aceito em 21 de Novembro, 2015
Received On April 18, 2014/ Accepted on November 21, 2015

RESUMO

LiDAR (Light Detection And Ranging) é uma tecnologia que permite a obtenção de coordenadas tridimensionais de pontos sobre a superfície terrestre através da emissão de pulsos laser. Dentre os inúmeros objetos que podem ser extraídos a partir de uma nuvem de pontos oriunda dessa tecnologia, as áreas planas que caracterizam telhados de edificações constituem um desafio para as ciências cartográficas pois apresentam alto nível de complexidade tendo em vista a irregularidade existente nos telhados das edificações. O estudo a seguir apresenta a metodologia e resultados preliminares obtidos na detecção automática de áreas planas em telhados de edificações utilizando nuvens de pontos da tecnologia LiDAR. A metodologia desenvolvida, inicialmente, divide a nuvem de pontos em uma supermatriz de elementos quadrados e analisa a variação altimétrica dos pontos existentes em cada elemento a partir de um valor de limiar, com o objetivo de separar previamente regiões que possuem baixa variação altimétrica em relação ao limiar estabelecido. Em seguida aplica-se a técnica de análise de componentes principais nos elementos de baixa variação altimétrica para analisar a variância de cada componente principal, uma vez que em áreas planas, a variância da terceira componente principal (VAR_{CP3}) é menor do que a variância da primeira e da segunda componente principal (VAR_{CP1} e VAR_{CP2}). Informações obtidas com algoritmos de classificação automática de pontos pertencentes ao terreno possibilitam filtrar e selecionar as áreas planas que pertencem exclusivamente aos telhados das edificações. Os testes foram realizados em cenários com diferentes tipos de telhados de edificações e os resultados obtidos mostram que a metodologia desenvolvida possibilita detectar áreas planas nos telhados das edificações de forma automatizada a partir de uma nuvem de pontos provenientes da tecnologia LiDAR.

Palavras chaves: LiDAR, Detecção, Áreas Planas, Edificações.

ABSTRACT

LiDAR (Light Detection And Ranging) is a technology that allows obtaining three-dimensional coordinates of points on the earth's surface by emitting laser pulses. Among the many objects that can be extracted from a cloud of points derived from this technology, the flat areas that characterize buildings roofs are a challenge for the cartographic sciences as they present high level of complexity in a view of different types of buildings roofs. The current study presents the methodology and preliminary results obtained in automatic detection of flat areas on buildings roofs using a LiDAR point cloud. The proposed methodology, initially, organizes the point cloud entirety in a square supermatrix and analyze the altimetric variations of points existing in each element by a threshold value with the objective to separate

previously the regions with high and low altimetric variation by the established threshold. Then we apply a principal component analysis technique in the elements with low altimetric variations analyzing the variance of each principal component, since in the flat areas, the variance of the third principal component (VAR_{CP3}) is smaller than the variance of the first and second principal component (VAR_{CP1} and VAR_{CP2}). Information resulting from the automatic ground points classification enable to select the flat areas belong exclusively into the buildings roofs. Tests were performed on several scenarios with different types of building roofs and the results obtained show that this methodology allows to detect flat areas on buildings roofs under various conditions and by automatically way. The study also shows that this methodology can be applied to detect flat areas in other regions of interest from a cloud of LiDAR points.

Keywords: LiDAR, Detection, Flat Areas, Buildings.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de varredura laser, conhecido internacionalmente pela sigla inglesa LiDAR, é uma tecnologia de sensoriamento remoto ativo que possibilita determinar coordenadas tridimensionais de pontos sobre a superfície terrestre através de pulsos devidamente integrados com informações de trajetórias oriundas de um Sistema de Navegação Global por Satélites e Navegação Inercial (WEHR & LOHR, 1999; LILLESAND & KIEFER, 2000; DALMOLIN & SANTOS, 2004).

O princípio da tecnologia LiDAR baseia-se na determinação de coordenadas tridimensionais (X,Y,Z) de pontos por meio da emissão e recepção de pulsos laser bem como a refletância de determinados objetos. As coordenadas tridimensionais dos pontos são determinadas através da medição do tempo entre a emissão e o retorno do pulso refletido multiplicada pela velocidade da luz, cuja técnica é também conhecida como *Time-of-Flight* (WEHR & LOHR, 1999; LILLESAND & KIEFER, 2000). Os pulsos laser são emitidos até a superfície terrestre com uma frequência e padrão de varredura que geralmente são perpendiculares à direção da linha de voo. Além das características de frequência e padrão de varredura, alguns sensores possuem a capacidade de emitir e receber múltiplos retornos de um único pulso laser e essa característica constitui uma poderosa ferramenta de análise de dados pois contribui para a detecção, extração e reconstrução de objetos tridimensionais utilizando nuvem de pontos (SANTOS, 2006).

A detecção e extração de feições cartográficas utilizando imagens aéreas e nuvem de pontos laser tem sido alvo de diversos pesquisadores visando a automação dos processos de coleta. As primeiras pesquisas foram desenvolvidas por Vosselman (1999); Lee & Schenk (2001); Alharthy (2003); Rottensteiner & Briese (2003); Sampath & Shan (2006); Galvanin (2007); Dal Poz (2008);

Jutzi & Gross (2009), além de pesquisas desenvolvidas nos últimos cinco anos por Dal Poz et al. (2010); Dal Poz & Galvanin (2011); Pacheco et al. (2011); Dal Poz (2013), Mendes & Dal Poz (2013); Uzar & Yastikli (2013). No cenário urbano, uma dessas demandas pode ser exemplificada pela necessidade de detecção e extração de telhados das edificações com o objetivo de analisar e monitorar o padrão de crescimento e desenvolvimento das grandes cidades.

A presente pesquisa possui uma metodologia similar à desenvolvida por Sampath & Shan (2006) que utiliza a análise de componentes principais como base para a detecção das áreas planas, porém, com alguns diferenciais na automação do processo de extração das feições. A pesquisa está dividida em 6 seções principais. A Seção 2 relaciona as principais pesquisas desenvolvidas na extração de feições e detecção de áreas planas em edificações e que compõe a fundamentação teórica da metodologia desenvolvida. A Seção 3 apresenta a metodologia bem como os materiais utilizados. Os experimentos e resultados experimentais obtidos seguem apresentados respectivamente nas seções 4 e 5. A seção 6 apresenta uma análise e as conclusões bem como perspectivas de continuidade da pesquisa.

2. EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES E DETECÇÃO DE ÁREAS PLANAS

A extração de feições utilizando imagens aéreas e nuvem de pontos laser bem como a sua modelagem com dados da tecnologia LiDAR é um problema amplamente discutido nas áreas da Fotogrametria e Computação Aplicada. Segundo Dal Poz *et al.* (2007), na área das Ciências Cartográficas, o desenvolvimento de metodologias para a extração de feições tem sido de fundamental importância, há mais de duas décadas, tanto na automação dos processos quanto na coleta de feições cartográficas como edificações, rios,

estradas, entre outros. Além disso, a busca pela automação dos processos citados anteriormente torna-se importante na investigação de métodos que possibilitam analisar regiões com diferentes coberturas de uso e ocupação do solo urbano e rural.

Vosselman (1999) desenvolveu uma metodologia para reconstruir edificações utilizando feições planas extraídas em telhados de edificações por meio de um algoritmo de triangulação. Essa metodologia detecta feições planas pertencentes a uma mesma face do telhado através do agrupamento de triângulos semelhantes utilizando análise de componentes principais e bordas através da mudança de direção do vetor normal de cada triângulo.

Lee & Schenk (2001) desenvolveu uma metodologia baseada em um algoritmo de crescimento de regiões de pontos laser. A partir de um ponto denominado “semente” os demais elementos da nuvem de pontos laser são agrupados de forma iterativa utilizando critérios de proximidade, similaridade e continuidade até que não haja mais pontos com atributos semelhantes.

Rottensteiner & Briese (2003) desenvolveram pesquisas de extração de telhados de edificações através de técnicas de segmentação hierárquica baseada em análise estatística dos vetores normais existentes em um modelo digital de superfície tendo como objetivo automatizar o processo de reconstrução de edificações.

Sampath & Shan (2006) desenvolveram uma metodologia baseada na análise de componentes principais como técnica de filtragem e detecção de elementos coplanares. Através de centroides pré-definidos o algoritmo encontra elementos coplanares e pela análise de autovalores e autovetores são identificadas as linhas de quebra (*breaklines*) resultantes do cruzamento dos diversos planos.

Pesquisas desenvolvidas por Galvani (2007) e Dal Poz (2008) possibilitaram extrair o contorno do telhado das edificações a partir de dados da tecnologia LiDAR utilizando um modelo baseado no Campo Aleatório de Markov e pesquisas mais recentes desenvolvidas por Uzar & Yastikli (2013) possibilitaram a extração de edificações utilizando nuvens de pontos laser e imagens aéreas através de regras de classificação baseada em objetos (*Object-based analysis*).

3. METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida para detectar áreas planas em edificações baseia-se na análise de componentes principais aplicada em elementos de uma supermatriz para identificar regiões que atendam à condição de coplanaridade, ou seja, pontos pertencentes a um plano. A análise de componentes principais é uma técnica estatística que analisa a estrutura de variância-covariância de um conjunto de dados e transforma as variáveis originais em um novo conjunto de variáveis cuja correlação é mínima (JOHNSON & WICHERN, 1998). Algebricamente, as componentes principais são combinações lineares das variáveis originais e estas componentes definem um novo sistema de coordenadas obtido através da rotação dos eixos do sistema de coordenadas original. A análise de componentes principais, quando aplicada em uma nuvem de pontos laser, possibilita detectar características de coplanaridade da análise da variância de cada componente principal. A hipótese a ser verificada é que se a distribuição espacial de pontos na região analisada possui característica de coplanaridade, a variância da terceira componente principal (VAR_{CP3}) é menor do que a variância da primeira e da segunda componentes principais (VAR_{CP1} e VAR_{CP2} respectivamente).

A primeira etapa da metodologia consiste em dividir a nuvem de pontos em uma supermatriz de elementos quadrados. Em cada elemento calcula-se a variação da altura dos pontos mais baixos e mais altos. Dessa forma, é possível selecionar os elementos candidatos como pertencentes às áreas planas a partir das menores variações de altura. Neste caso, o programa possibilita parametrizar a dimensão dos elementos da supermatriz bem como o limiar de altura para selecionar os elementos que possuem as menores variações de altura (Fig. 1).

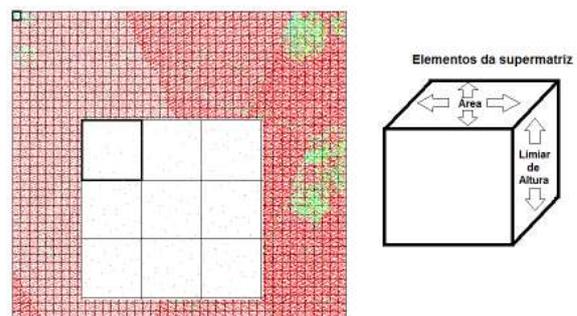


Fig. 1 - Parâmetros de área e limiar de altura dos elementos da supermatriz.

A análise de variação da altura local é feita para cada elemento da supermatriz e caso esse elemento apresente variação de altura inferior ao limiar estabelecido pelo usuário, esse é selecionado automaticamente para a segunda etapa que consiste na aplicação da técnica de análise de componentes principais nos pontos pertencentes a cada elemento selecionado. O resultado é então armazenado em um arquivo que contém o identificador de cada elemento selecionado juntamente com a variância das três componentes principais e as componentes (e_1, e_2, e_3) do autovetor da terceira componente principal. A última etapa consiste na análise do tamanho relativo da terceira componente principal para selecionar os pontos que satisfazem ao critério de coplanaridade. Analisa-se então o tamanho relativo do terceiro autovetor que descreve a variância explicada pela terceira componente principal (VAR_{CP3}). Quando o conjunto de pontos analisados corresponde a uma região plana, é esperado que apenas as duas primeiras componentes principais sejam significativas (pois elas descrevem um plano) e a terceira componente principal seja nula ou quase nula. O tamanho relativo da terceira componente principal (TR_{CP3}) é obtido pela equação (1).

$$TR_{CP3} = \frac{VAR_{CP3}}{(VAR_{CP1} + VAR_{CP2} + VAR_{CP3})} \quad (1)$$

Onde:

- VAR_{CP1} : variância da 1º componente principal;
- VAR_{CP2} : variância da 2º componente principal; e
- VAR_{CP3} : variância da 3º componente principal.

Para selecionar as áreas planas o tamanho relativo da terceira componente principal (TR_{CP3}) deve estar abaixo do limiar estabelecido pelo usuário ($Limiar_{TR}$), ou seja, a região detectada é considerada plana se $TR_{CP3} \leq Limiar_{TR}$. Para eliminar os planos detectados no terreno e não pertencentes aos telhados das edificações, utiliza-se o algoritmo de classificação de pontos pertencentes ao terreno (*Classify Ground*) do programa TerraScan (www.terrasolid.com). Maiores detalhes e informações sobre o algoritmo *Classify Ground* em: <https://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf>.

4. EXPERIMENTOS

Para realizar os experimentos de detecção automática de áreas planas em edificações uti-

lizando nuvem de pontos laser foram utilizados dados obtidos por um levantamento aéreo laser executado na cidade de Recife/PE com densidade aproximada de 15 pontos/m². Os dados foram fornecidos pela empresa Engefoto Engenharia e Aerolevantamentos S.A. em formato LAS contendo coordenadas tridimensionais e intensidade de retorno do pulso laser. A Figura 2 mostra a nuvem de pontos colorida por elevação (a) bem como a imagem de composição (elevação e intensidade) resultante da nuvem de pontos (b).



Fig.2(a) - Nuvem de pontos da área de estudo colorida por elevação.



Fig.2(b) - Imagem de composição (elevação e intensidade) resultante da nuvem de pontos.

Para avaliar a metodologia desenvolvida foram realizados quatro experimentos combinando parâmetros de área dos elementos da supermatriz e também limiar de altura. Na Tabela 1 são apresentadas as configurações que foram utilizadas em cada um dos experimentos.

Tabela 1: Configurações utilizadas nos experimentos

Experimento	Área dos elementos da supermatriz (m ²)	Limiar de altura (m)
I	1	1
II	2	2
III	3	3
IV	4	4

Nos experimentos realizados o limiar de altura adotado foi o mesmo que a área dos elementos da supermatriz (o que resultou em cubos como elementos da supermatriz) e o limiar do tamanho relativo da terceira componente principal (TR_{CP3}) foi fixado em todos os experimentos em 5% e que representa a variação dos pontos laser pertencentes à cada plano detectado. Testes previamente realizados com a variação de 1 a 10% no limiar do tamanho relativo da terceira componente principal, mostraram que o limiar de 5% foi considerado o mais adequado para a correta caracterização dos planos nesse conjunto de dados. Entretanto, é importante destacar que a metodologia possibilita que esse valor seja configurado conforme variação da nuvem de pontos laser uma vez que essa variação representa o comportamento dos pontos em áreas planas e que é quantificada pelo valor do tamanho relativo da terceira componente principal.

Após finalizada a análise de componentes principais e aplicada a regra de decisão baseada no tamanho relativo da terceira componente principal, as áreas planas pertencentes ao terreno foram automaticamente filtradas e eliminadas utilizando a ferramenta *Classify Ground* do programa *TerraScan*. O agrupamento das áreas planas detectadas nos telhados das edificações foi obtido através da técnica de análise de clusters (*Cluster Analysis*) utilizando o algoritmo k-médias (*K-means Clustering*) com 10 classes que representam intervalos gerados a partir das direções cardiais (N, S, E, W). Essas direções foram utilizadas para classificar as direções das resultantes dos coeficientes do autovetor (e_1 , e_2 , e_3) da terceira componente principal (SAMPATH & SHAN, 2006). De maneira similar à escolha do limiar do tamanho relativo da terceira componente principal, o número de classes na análise de clusters é variável e definido pelo usuário durante a etapa de classificação.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos na detecção de áreas planas em edificações com base nos experimentos apresentados na Tabela 1. Nos experimentos realizados a área dos elementos da supermatriz variou de 1 a 4m² e o limiar de altura, que é função da área da supermatriz, foi mantido o mesmo que o valor da área, ou seja, variou de 1 a 4m respectivamente.

Os resultados obtidos são apresentados nas figuras 3(a), 3(b), 3(c) e 3(d).

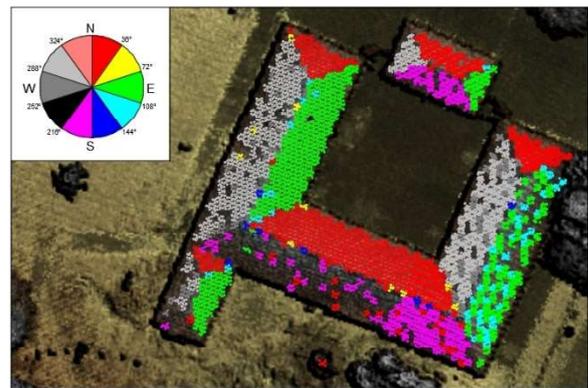


Fig. 3(a) - Resultado obtido no Experimento I.

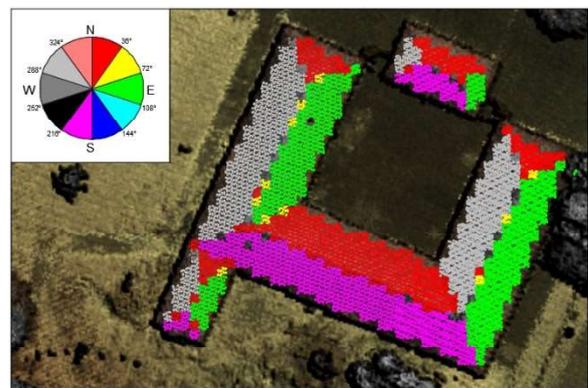


Fig. 3(b) - Resultado obtido no Experimento II.

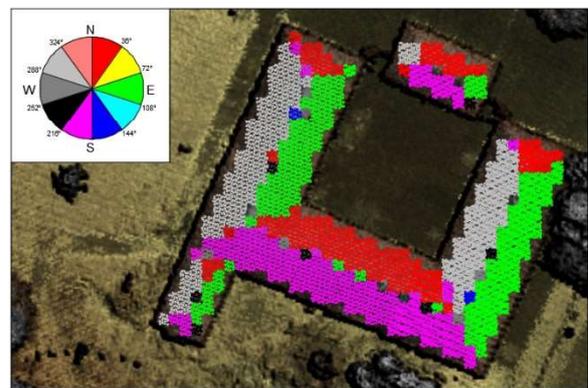


Fig. 3(c) - Resultado obtido no Experimento III.

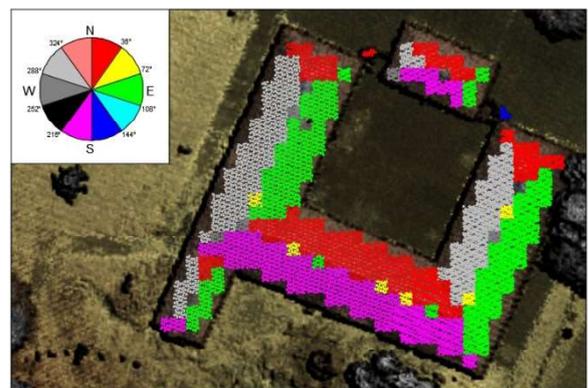


Fig. 3(d) - Resultado obtido no Experimento IV.

De acordo com os resultados obtidos é possível verificar que no Experimento I as áreas planas foram caracterizadas corretamente, entretanto, houve grande ocorrência de falhas na detecção de áreas planas nos telhados das edificações. Isso se deve ao fato de que os elementos da supermatriz são muito pequenos impossibilitando a correta caracterização e detecção das áreas planas localizadas nos telhados das edificações.

No Experimento II é possível verificar que os telhados foram corretamente detectados e apenas algumas falhas ocorreram nas regiões de cumeeira e bordas, pois são regiões formadas por pontos que definem planos com duas ou mais direções. Nos experimentos III e IV é possível verificar que a detecção dos planos foi similar ao Experimento II, porém, houve uma imprecisão no detalhamento das bordas das áreas planas nos telhados das edificações. Isso ocorreu pelo fato da área dos elementos da supermatriz ter selecionado pontos que não fazem parte de um plano ou de um único plano.

Com base nos resultados obtidos foi possível verificar que a escolha da área dos elementos da supermatriz é um fator determinante na detecção e no detalhamento das áreas planas localizadas nos telhados das edificações. Esse valor por sua vez está relacionado com a densidade de pontos/m² e não deve ser muito pequeno de modo que os planos não sejam caracterizados, mas também não deve ser muito grande de modo que contenham pontos que não definam um único plano. Na área de estudo, o valor de área dos elementos da supermatriz de 2m² e limiar de altura igual a 2m gerou os resultados mais consistentes na detecção das áreas planas nos telhados das edificações. Em relação ao tamanho relativo da terceira componente principal, quanto menor o valor de porcentagem, mais rígida será a seleção dos planos. Nos testes realizados, o valor de 5% foi suficiente para detectar as áreas planas existentes nos telhados das edificações. As figuras 4(a) e 4(b) mostram respectivamente a imagem hipsométrica e os resultados obtidos na área utilizada para validar a metodologia com a estratégia que produziu os melhores resultados, ou seja, área dos elementos da supermatriz de 2m² e limiar de altura igual a 2m bem como tamanho relativo da terceira componente principal igual a 5%.



Fig. 4(a) - Imagem hipsométrica da área utilizada para validar a estratégia selecionada.

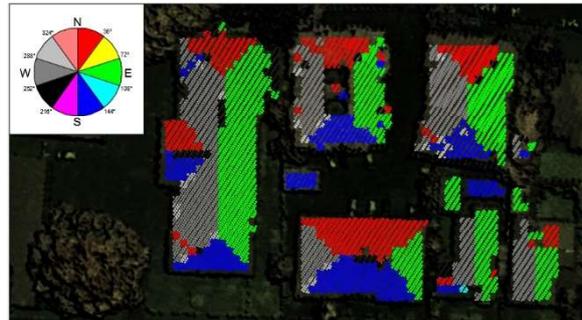


Fig. 4(b) - Resultado obtido utilizando a estratégia selecionada.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou um estudo experimental bem como resultados obtidos no desenvolvimento de uma metodologia para detectar áreas planas em telhados de edificações utilizando nuvem de pontos laser de maneira similar à metodologia proposta por Sampath & Shan (2006) que consiste na análise de componentes principais como base para a detecção das áreas planas. Como diferenciais da metodologia desenvolvida, a técnica de geração de supermatriz possibilitou detectar e eliminar previamente regiões com variação altimétrica local acima de um limiar estabelecido, como as existentes em árvores e áreas de vegetação. Além disso, a análise e escolha do tamanho relativo da terceira componente principal possibilitou detectar as áreas planas em todas as direções e com variação compatível com a precisão da nuvem de pontos. Isso se deve ao fato de que a análise de componentes principais quando aplicada a um conjunto de pontos laser possibilita detectar regiões com características de coplanaridade mesmo que sob diversas posições e ângulos de inclinação uma vez que a análise do tamanho relativo é realizada em um novo conjunto de coordenadas obtido através da rotação dos eixos

do sistema de coordenadas original.

Analisando os resultados obtidos nos experimentos realizados, verificou-se que a escolha do tamanho dos elementos da supermatriz e a variação altimétrica é um fator determinante na detecção e no detalhamento das áreas planas localizadas nos telhados das edificações. Esse valor por sua vez está relacionado com a densidade de pontos/m² e deve ser escolhido de modo que os elementos da supermatriz contenham pontos que possibilitem caracterizar um único plano. Além disso, com relação ao tamanho relativo da terceira componente principal, a porcentagem de 5% no conjunto de dados utilizado no experimento foi suficiente e compatível para detectar áreas planas nos telhados das edificações, entretanto, esse valor também pode ser escolhido pelo usuário de modo que a detecção seja mais ou menos rígida em função da precisão da nuvem de pontos. Não obstante as regras de análise variação altimétrica local e de componentes principais, a classificação dos pontos pertencentes ao terreno atua de forma seletiva para eliminar as áreas planas pertencentes ao terreno, possibilitando assim a detecção de áreas planas pertencentes exclusivamente ao telhado das edificações. Para solucionar as inconsistências na detecção e caracterização das regiões de bordas e cumeeiras dos telhados das edificações, pesquisas futuras visam incorporar algoritmos de crescimento de regiões utilizando as áreas planas detectadas com o objetivo de eliminar erros de detecção e caracterizar integralmente os telhados das edificações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Engefoto Engenharia e Aerolevantamentos S.A. pelo fornecimento dos dados para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHARTHY, A. **Airborne laser scanning system evaluation and extraction building**. PhD Thesis - Faculty of Purdue University. 2003. 250p.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. **Sistema Laserscanner: Conceitos e princípios de funcionamento**. (3ª edição). Curitiba, UFPR,

2004. 120p.

DAL POZ, A. P.; ZANIN, R. B.; VALE, G. M. Extração automática de feições rodoviárias em imagens digitais. **Revista Controle e Automação**. v. 18 (1), p. 44-54, 2007.

DAL POZ, A. P. **Geometric refinement of LiDAR roof contours using photogrammetric data and Markov random field model**. In: XXI ISPRS Congress, 2008, Beijing - China. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Enschede - Holanda: ISPRS, 2008. v. 36. p. 1-6.

DAL POZ, A. P.; CORREIA, L. S.; FAZAN, Antônio Juliano. **Extração de contornos de telhados usando dados fotogramétricos e de varredura a laser**. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010, Recife, PE. III SIMGEO. Recife, PE: UFPE, 2010. v. 1. p. 1-6.

DAL POZ, A. P.; GALVANIN, E. A. S. **Building Roof Contour Extraction from LiDAR data**. In: ASPRS Annual Conference 2011, 2011, Milwaukee, WI. ASPRS 2011. Milwaukee, WI: ASPRS, 2011. v. 1. p. 1-5.

DAL POZ, A. P. **Filtragem de dados de varredura a laser: Princípios e exemplos**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu-Pr. Anais do XVI SBSR. São José dos Campos-SP: INPE, 2013. v. 16. p. 6057-6064.

GALVANIN, E. A. S. **Extração automática de contornos de telhados de edifícios em um modelo digital de elevação, utilizando inferência bayesiana e campos aleatórios de Markov**. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2007. 165p.

JOHNSON, R. A. & WICHERN, D. W. – **Applied Multivariate Statistical Analysis**; 6th Edition. Prentice Hall Inc., Englewood NJ (2008). 800p.

JUTZI, B.; GROSS, H. **Nearest Neighbour Classification on Laser Point Cloud to Gain Objects Structures from Buildings**. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXVIII, Hannover, 2009. p.1-6.

- LEE, I.; SCHENK, T. **Autonomous extraction of planar surfaces from airborne laser scanning data**. In: ASPRS Annual Conference, St. Louis-MO. 2001.
- LILLESAND, T.M. & R.W. KIEFER (2000): **Remote Sensing and Image Interpretation**. 4th Edition, John Wiley & Sons, New York, NY, pp. 568-575.
- MENDES, T. S. G.; DAL POZ, A. P. Integração de imagem aérea de alta resolução e dados de varredura a laser na classificação de cenas urbanas para detectar regiões de via. **Boletim de Ciências Geodésicas (Online)**, v. 19, p. 287-312, 2013.
- PACHECO, A. P.; CENTENO, J. A. S.; ASSUNÇÃO, M. G. T.; BOTELHO, M. F. Classificação de pontos lidar para a geração do MDT. **Boletim de Ciências Geodésicas (Impresso)**, v. 17, p. 417-437, 2011.
- ROTTENSTEINER, F.; BRIESE, CH. **Automatic generation of building models from LIDAR data and the integration of aerial images**. In Proceedings of the International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Dresden, Germany, 8–10 October 2003; Volume XXXIV-3/W13. 7p.
- SAMPATH, A., SHAN, J., 2006. **Clustering based planar roof extraction from LiDAR data**. In: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference, Reno, Nevada, May 1-6. 6p.
- SANTOS, D. R. **Automação da resseção espacial de imagens com uso de hipóteses de rodovias como apoio de campo derivadas do sistema de varredura laser**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. 120p.
- UZAR, M.; YASTIKLI, N. Automatic Building Extraction using LiDAR and Aerial Photographs. **Boletim de Ciências Geodésicas (Online)**, Curitiba, v. 19, n° 2, p.153-171, abr-jun, 2013.
- VOSELNMAN, G., 1999. **Building Reconstruction Using Planar Faces**. In: Very High Density Height Data. IAPRS, Vol. XXXII/3-2W5, Munich, Germany, p. 87-92.
- WEHR, A.; LOHR, U. 1999: **Airborne laser scanning – an introduction and overview**. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, p. 68–82.