
FILTRAGEM E CLASSIFICAÇÃO DE NUVEM DE PONTOS PARA A GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO

RODRIGO DE CASTRO MORO
JORGE ANTÔNIO SILVA CENTENO

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Setor de Sensoriamento Remoto
Departamento de Geomática, Curitiba, PR
zedi@pop.com.br,centeno@ufpr.br

RESUMO – Desde o surgimento de sistemas de varredura a laser aerotransportados, a possibilidade de obter uma grande quantidade de pontos com coordenadas tridimensionais da superfície da Terra abriu novos horizontes no campo da fotogrametria. Uma das aplicações é a derivação de um modelo digital do terreno (MDT) a partir da nuvem de pontos. Atualmente, constata-se a procura pela automação desta extração. O problema consiste em separar, na nuvem de pontos, os pontos que pertencem ao terreno e os pontos que pertencem às edificações, árvores e obstruções do solo em geral. O presente artigo mostra os resultados de um estudo que tem por finalidade gerar um MDT a partir de uma nuvem de pontos, os dados brutos XYZ da varredura a laser, aplicando técnicas de classificação e filtragem, utilizando um processo vetorial de análise. Para iniciar, uma triangulação de Delaunay é obtida a partir do conjunto de dados. Num processo iterativo, a declividade de vetores que ligam pontos espacialmente próximos é analisada. Pontos elevados são caracterizados por grandes declividades e estes são retirados da triangulação. O algoritmo foi avaliado usando uma nuvem de pontos real, tendo sido verificado experimentalmente que ele é capaz de reduzir a presença de árvores ou construções no modelo.

ABSTRACT – Since the development of airborne laser scanners, the possibility to get a huge number of points with three-dimensional coordinates of the surface of the terrain opened new horizons in the field of photogrammetry. One of the applications of such data is the derivation of a digital terrain model from the cloud of points. Currently, there is a need to automate the process of extraction. The problem consists of separating, in the point cloud, the points that belong to the terrain and those that belong to buildings, trees and other obstacles above the terrain. The present paper shows the results of a study that aims at generating a digital terrain model from a point cloud, raw XYZ data of the laser scanner, applying techniques of classification and filtering within a vectorial analysis. First, a Delaunay triangulation is computed from the whole data set. Within an iterative process, the slope of vectors that bind spatially close points analyzed. High points are characterized by high slopes and these are removed from the triangulation. The algorithm was evaluated using a real point cloud and it was experimentally verified that the algorithm is able to reduce the presence of trees or buildings in the model.

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução do sistema *Laserscanning* aplicado à varredura da superfície física da terra, tem-se notado a utilidade da classificação dos dados adquiridos pelo laser scanner para a caracterização dos elementos que cobrem a superfície terrestre. A partir do levantamento a laser é possível medir o primeiro e o último retorno do pulso emitido pelo sistema laser, obtendo assim uma grande quantidade de dados tridimensionais.

Para um pulso emitido, os primeiros retornos correspondem às partes mais altas do local, como árvores e edificações, e os últimos pulsos normalmente são as

partes mais baixas como a superfície da terra. Porém, nem sempre é possível separar diretamente aqueles pontos que atingiram o terreno. Como a frequência de emissão de pulsos é alta, uma grande quantidade de pontos com coordenadas tridimensionais fica disponível. Este conjunto é conhecido como nuvem de pontos.

Neste trabalho, esta nuvem de pontos é analisada e com a finalidade de separar os pontos originados no terreno daqueles originados na superfície dos objetos. Assim, como resultado, um conjunto de dados XYZ do terreno é obtido mesmo em regiões cobertas por vegetação ou construções.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O laser scanner aerotransportado é um sistema usado para determinar a altitude de pontos da superfície da terra e os objetos presentes acima dela. Para isto, um emissor/receptor de pulsos laser é instalado em uma aeronave e transportado acima da superfície da qual se deseja obter os dados. O equipamento emite pequenos pulsos em direção ao terreno. Estes pulsos são refletidos pelos objetos e parte do sinal emitido retorna ao sensor. Com base no tempo decorrido entre a emissão e o registro do retorno do sinal calcula-se a distância entre a aeronave e o local de incidência (Baltasvias, 1999). A partir de medições da distância efetuadas com um pulso laser, é possível calcular as coordenadas tridimensionais dos locais onde cada pulso incide no terreno, desde que seja conhecida a posição e a atitude do sensor na hora da coleta. Para isto, equipamentos auxiliares, como GPS e unidade inercial (IMU) são acoplados ao sistema e medições simultâneas são obtidas durante o levantamento, como ilustra a figura 1.

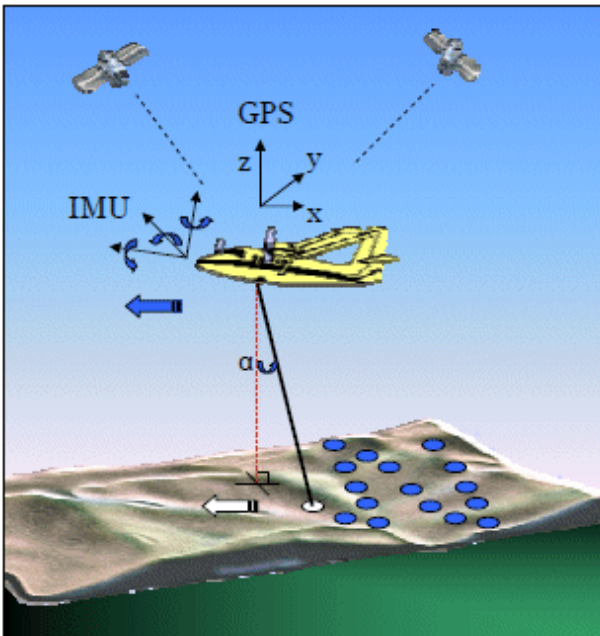
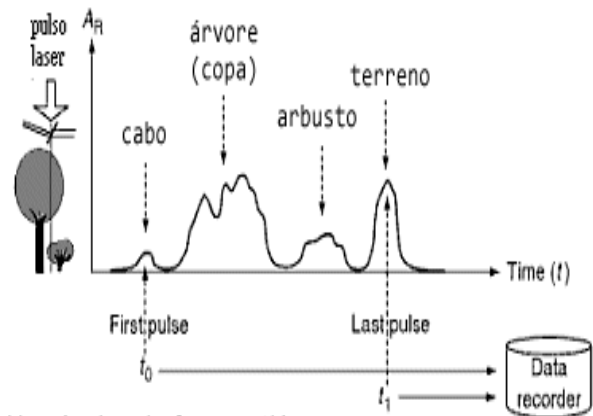


Figura 01 – Levantamento laser scanner (de Centeno, 2007).

O conjunto de pontos obtidos, denominado nuvem de pontos, é denso e contém uma elevada quantidade de pontos. Porém, estes pontos não correspondem apenas ao terreno, eles correspondem também a edificações e ao topo da vegetação. Alguns pontos conseguem penetrar na vegetação e podem dar uma noção da topografia em áreas cobertas por vegetação. Em áreas urbanas, onde predominam os telhados, pontos no terreno ocorrem apenas nas ruas ou pátios.

Os equipamentos de varredura a laser são capazes de detectar mais de um retorno para cada pulso. Em áreas de vegetação, o primeiro pulso corresponde ao topo da

vegetação e o segundo, quando existe, corresponde ao solo. Já em superfícies sólidas, como terreno ou construções, apenas um retorno é registrado, ou seja, o primeiro retorno é igual ao último. A figura 2 ilustra estes múltiplos retornos. Nela, é possível ver que, mesmo com menor intensidade, retornos associados a uma vegetação menor ou cabos de linhas de transmissão podem ser percebidos nos dados do laser scanner.



(de: Jie Shan, Charles K. Toth)

Figura 02: Múltiplos retornos (Jie Shan, J.; Toth, C.K. 2009).

Para fins de compreensão do artigo, entende-se modelo digital do terreno como sendo uma representação estatística contínua da superfície terrestre por um número de pontos com coordenadas x, y e z conhecidas (MILLER et al, 1958). Diferentemente, o modelo digital de superfície inclui todas as estruturas existentes sobre a superfície do terreno como árvores, edificações e vegetação. O resultado de um levantamento com laser scanner aerotransportado inclui todos os objetos atingidos pelos pulsos, terreno, árvores e construções. Para classificar os pontos e separar aqueles associados ao MDS e MDT, são utilizadas algumas técnicas de filtragem e classificação.

O problema central, na produção de modelos digitais do terreno em áreas urbanas, é separar os pontos correspondentes ao terreno daqueles originados em construções e árvores.

Existem diferentes alternativas para a solução deste problema, uma revisão da literatura pode ser encontrada em Sithole e Vosselman (2004) ou Botelho e Centeno (2007). A maior parte desses métodos se baseia na identificação de pontos afastados do terreno em função da declividade local, continuidade da superfície ou da distância do ponto a um plano de referência que corresponderia ao terreno.

Uma estratégia consiste em partir de um MDT esparsos e progressivamente aumentar pontos que se supõe pertencem ao terreno, como descreve Axelsson (1999). O

processo se inicia identificando pontos que com certeza são parte do terreno, mesmo que isto signifique a produção de um conjunto de pontos extremamente pequeno. Este conjunto é usado para estimar uma grade TIN que é considerada uma primeira aproximação do terreno e é usada para avaliar o restante dos pontos. Fixando uns critérios, novos pontos podem ser adicionados, gerando uma grade mais densa. O processo é iterativo e termina quando não é possível adicionar novos pontos.

Um dos trabalhos mais reconhecidos para a filtragem de nuvem de pontos é aquele desenvolvido por Vosselman (2000). Este método usa um operador de erosão da morfologia matemática. Existem variações deste método, como por exemplo, o trabalho de Sithole (2001) ou Peixoto e Centeno (2009).

O método proposto neste trabalho segue o princípio do trabalho de Vosselman (2000). A proposta é remover do MDS os pontos que correspondem a objetos localizados a cima do terreno e filtrar apenas os pontos do MDT, utilizando o método de filtragem por declividade (Vosselman, 2000). O método se baseia na hipótese de que a variação de cota no terreno é suave. Logo, isto implica que se existe uma diferença de altura considerável entre dois pontos, a probabilidade do mais alto deles não pertencer ao terreno aumenta. Para a utilização destas técnicas é necessário analisar a vizinhança de cada ponto, o que é efetuado utilizando a triangulação de Delaunay em conjunto com o diagrama de Voronoi. A vantagem de utilizar uma triangulação para agrupar os pontos ao invés de gerar uma interpolação por filtragem é que ficam eliminados os erros de interpolação gerados a partir dos dados brutos, e não são perdidas as informações de localização dos pontos originais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Metodologia

O presente artigo tem como finalidade gerar um MDT a partir da nuvem de pontos XYZ obtidos de um sistema LASER, a técnica utilizada será da filtragem por declividade em conjunto com o método de superfície. Algoritmos utilizados foram elaborados utilizando as linguagens de programação ++ e MATLAB, para a representação dos dados foram gerados scripts para o AutoCAD, os quais desenham as nuvens de pontos em 3D, e a triangulação de Delaunay.

3.2 Método da filtragem por declividade e método da superfície

A decisão a ser tomada é se os pontos pertencem ao terreno ou a alguma estrutura existente na superfície e ela é decidida com base na diferença de altitude entre pontos próximos um ao outro. Para fazer a comparação de

altitude entre os pontos, é feita uma análise do vetor que os une. Por se localizar no espaço 3D, o vetor é descrito por norma (tamanho, correspondente à distância entre os pontos) e sua direção (ângulo). A norma descreve a proximidade dos pontos e a direção fornece informação a respeito da declividade entre os dois pontos. Estes dois dados são derivados da triangulação de Delaunay e analisados para identificar se a diferença de altitude entre eles é brusca ou não. Caso ela seja brusca, ou seja, se o ângulo entre o plano horizontal e o vetor for maior que um limiar determinado pelo usuário, que para este estudo foi de 30 graus, o ponto mais alto é eliminado. A comparação dos pontos é feita entre pontos que são ligados pela triangulação de Delaunay, portanto a eliminação de pontos que não são do terreno possibilita gerar uma nova e melhor representação para o MDT. Assim sendo, após a análise de todos os pontos, é gerada novamente a triangulação de Delaunay, e as comparações de altitudes são repetidas com a nuvem de pontos já filtrada. Assim, após um número finito de iterações todos os pontos que se identificaram como não pertencentes ao terreno dentro das qualificações acima descritas são excluídos, sobrando somente um número menor de pontos que são os pontos pertencentes ao MDT.

4 EXPERIMENTOS

Para fazer uma avaliação do método implementado, uma nuvem de pontos de uma região em Curitiba foi selecionada. Esta região está localizada no Centro Politécnico da UFPR no bairro jardim das Américas. A tabela 1 mostra uma pequena parte de um arquivo de dados originais.

TABELA 1 Exemplo de dados laser scanner

X	Y	Z	I
676291.600	7184938.440	910.980	32.0
676292.420	7184938.990	911.000	17.0
676294.560	7184940.430	910.940	23.0
676295.380	7184940.990	910.980	13.0
676296.030	7184941.430	911.000	12.0
676296.850	7184941.990	911.060	15.0
676297.650	7184942.530	911.180	25.0
676298.290	7184942.960	911.240	14.0
676299.110	7184943.520	911.320	15.0
676300.580	7184944.520	911.320	17.0
676302.050	7184945.520	911.440	20.0
676302.710	7184945.960	911.450	19.0
676303.530	7184946.520	911.520	64.0
676304.180	7184946.960	911.520	61.0
676305.010	7184947.520	911.540	63.0
676305.660	7184947.960	911.520	55.0
676306.480	7184948.520	911.630	28.0
676307.280	7184949.060	911.630	46.0
676307.950	7184949.500	911.620	19.0
676308.630	7184949.960	911.570	16.0

Na tabela 1, é possível observar a pequena distância, no terreno, entre dois pontos consecutivos do levantamento. Ao mesmo tempo, pode ser visto que o levantamento inclui, além das coordenadas tridimensionais de cada ponto, uma coluna com o valor da intensidade do retorno registrado pelo sensor.

A figura 3 mostra os dados originais dos primeiros pulsos resultantes da varredura a laser efetuada pelo LACTEC, quem cedeu os dados para fins de pesquisa.

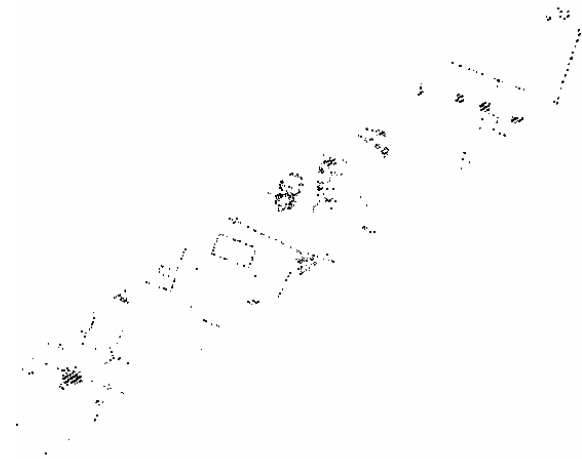


Figura 03 – pontos XYZ derivados do rastreamento LASER

A figura 04 mostra a triangulação de Delaunay obtida com estes pontos originais. Nota-se, nesta figura, a presença de pontos elevados, acima do terreno, caracterizando objetos como árvores. Também é visível a irregularidade da distribuição dos pontos, que depende das características do vôo e da varredura do sistema empregado.

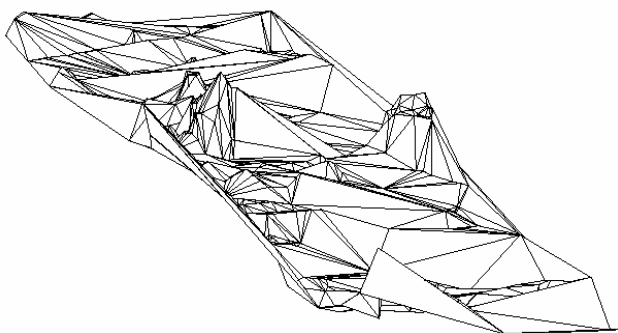


Figura 04 – triangulação de Delaunay a partir dos pontos originais derivados do sistema laser.

A figura 05 mostra o MDT originado após o processamento dos dados da triangulação feita com os pontos originais. O resultado mostra visivelmente que os pontos mais altos foram removidos. Vale a pena ressaltar que esta nuvem de pontos tem uma quantidade pequena de pontos, pois foi reduzida para fins de acelerar os experimentos. Na realidade, o conjunto de pontos

correspondente a esta região é maior, pois o levantamento é mais denso. Nos futuros experimentos da pesquisa, o conjunto total de pontos será usado.

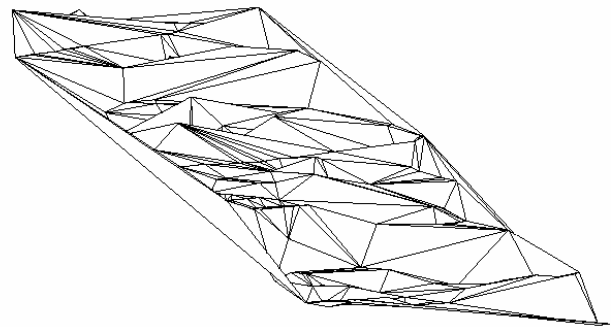


Figura 05 – triangulação de Delaunay derivada da filtragem dos pontos após a 33ª iteração.

4 CONCLUSÕES

A utilização do método de filtragem baseado na análise da declividade entre pontos próximos de uma nuvem de pontos obtida pela varredura a laser (laser scanner) para a derivação de um modelo digital do terreno provou ser eficiente e sua aplicação em dados reais produz bons resultados.

A qualidade da identificação dos pontos não pertencentes ao terreno foi avaliada qualitativamente. Nos exemplos foram utilizados apenas os primeiros pulsos para o processamento, o que acarreta numa facilidade computacional porém não numa fiel representação do terreno e sim dando destaques para as partes mais altas do terreno ou seja suas obstruções como edificações e vegetação. Porém, o resultado pôde mesmo assim ser avaliado, pois neste conjunto de dados encontram-se agrupamentos de pontos que caracterizam elevações, como árvores, dentro de uma região mais uniforme.

A análise da diferença de altitude pelo método de declividade, que é o conceito principal para a filtragem dos pontos, mostrou-se muito eficiente na extração dos pontos não pertencentes ao terreno. O método então é apropriado para terrenos com baixas declividades quando utilizado como critério de eliminação dos pontos mais altos os pontos avaliados por vetores com ângulo superior a 30 graus. Para terrenos mais acidentados, outros valores do limiar de declividade devem ser avaliados.

A seqüência de evolução deste projeto será avaliar novos tipos de terrenos, com diferentes tipos de obstruções. O objetivo será avaliar novas configurações angulares para a extração dos pontos do terreno.

A utilização de todos os pontos da varredura LASER implica num aumento significativo do esforço computacional necessário. Por isso, é necessário a otimização computacional, que é um dos pontos fracos da

utilização das técnicas baseadas na análise de malhas triangulares de dados, como as malhas TIM, em relação às técnicas que analisam representações raster. Em contrapartida, a grande vantagem da representação vetorial é o melhor grau de fidelidade da localização dos pontos do levantamento e a preservação da informação original.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer o apoio da UFPR e do programa de bolsas de iniciação científica do CNPq que financiou a pesquisa. Também os agradecimentos se estendem ao consultor em ciências da computação Fabio Franco, pelas ajudas prestadas nas dúvidas inerentes às linguagens de programação.

REFERÊNCIAS

ASSUNCAO, M.G.T.; BOTELHO, M.F.. CENTENO, J.A.S.; PACHECO, A.P. 2007. **Filtragem e classificação de pontos LIDAR para a geração de Modelo Digital do Terreno**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3681-3688.

AXELSSON, P.. **Processing of laser scanner data-algorithms and applications**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54, 1999. 138–147.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. **Sistema Laserscanner: Conceitos e princípios de funcionamento**. 2004. 65-85.

JIE SHAN, J.; TOTH, C.K. 2009. **Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing**. CRC / Taylor & Francis. 590 pages.

PEIXOTO, E. B. A.; CENTENO, Jorge A. S. **Avaliação do uso de filtros morfológicos para obtenção de modelo digital do terreno e rede de drenagem a partir de dados LIDAR**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5047-5054.

SITHOLE, G. 2001. **Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIV-3/W4 Annapolis, MD, 22-24 Oct. 2001

SITHOLE, G.; VOSSELMAN, G. 2004. **Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Volume 59, Issues 1-2, August 2004, Pages 85-101 Advanced Techniques for Analysis of Geo-spatial Data .

VOSSELMAN, G. 2000. **Slope based filtering of laser altimetry data**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B3, pages 935-942. Amsterdam, The Netherlands.