

## Variações de MDTs gerados a partir de dados LiDAR: Estudo comparativo entre diferentes classificadores

Carlos Alberto Silva<sup>1</sup>  
Veraldo Liesenberg<sup>2</sup>  
Carine Klauberg<sup>1</sup>  
Andrew Hudak<sup>3</sup>  
Robert Liebermann<sup>3</sup>  
Luiz Carlos Estraviz Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo - USP/ESALQ  
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil  
carlos\_engflorestal@yahoo.com.br  
carine\_klauberg@hotmail.com  
lcer@usp.br

<sup>2</sup> Freiberg University of Mining and Technology - TUBAF  
Bernhard-von-Cotta-Str. 2 - 09599 – Freiberg (Sachsen), Germany  
veraldo@gmail.com

<sup>3</sup> Rocky Mountain Research Station- USDA Forest Service  
1221 South Main Street – 83843 Moscow - Idaho, USA  
ahudak@fs.fed.us  
rjl@mail.ru

**Abstract.** Automatic cloud point classification of airborne LiDAR (Light Detection and Ranging) data into ground and non-ground points is an important step for both ecological and forest management analysis. We evaluated three freeware filtering algorithms for ground classification. Our study area is located in western Washington State (USA). The area contains different land use classes ranging from bare soil to shrubland, log forest and dense forest. We compare the different ground classification results each other and faced it with a topographic map. The high point density of the LiDAR dataset ( $>4$  points·m<sup>2</sup>) brought us good classification results based on RSME, CV and MAE. Elevation profiles encompassing different land use types did not show significant contribution of vegetation. Since the forest is managed, less contribution were found from the understory stratum and the ground floor level. However, some outliers were found in abrupt topographic changes, requiring therefore manual edition. Further investigation should take into account the relief changes at different land use types and evaluate the impact of the topography on the extraction of individual trees.

**Palavras-chave:** ALS, LiDAR, remote sensing, MDT, MDE, forest management, ground classification.

### 1. Introdução

O LiDAR (Light Detection and Ranging) é um sistema ativo, que nos últimos anos tem sido umas das principais tecnologias do sensoriamento remoto aplicadas na representação de superfícies (Hodgson et al., 2004, Hudak et al., 2009, Pacheco et al., 2011). O princípio de funcionamento desta tecnologia consiste na emissão de um pulso laser que após interagir com um objeto na superfície terrestre retorna para o sensor em um dado intervalo de tempo. A diferença de tempo entre a emissão e recepção permite reproduzir feições da superfície do terreno e das estruturas verticais presentes na superfície terrestre (NOAA, 2008).

O modelo digital de terreno (MDT, do inglês *Digital terrain model* (DTM)) é uma representação da superfície livre de objetos, ou seja, solo nu. Dentre as suas principais aplicações nas geociências, destacam-se a delimitação de bacias hidrográficas e extração de hidrografia, análises geológicas, determinação do comprimento e inclinação de rampa na modelagem do potencial erosivo dos solos, planejamento de estradas, terraplenagem e entre outros usos (Reutebuch et al., 2005). A geração automática de MDTs têm sido foco de inúmeros estudos utilizando a tecnologia LiDAR (Tinkham et al., 2011). No entanto, o

principal desafio a ser atingido para uma fiel representação do terreno, corresponde a uma eficiente filtragem da nuvem de pontos correspondentes ao solo nu. No entanto, a distinção entre o solo e as demais feições é um enorme desafio dependendo das características naturais da área (Meng et al., 2010). Alguns dos principais métodos de filtragem da nuvem de pontos referente ao solo nu podem ser encontrados em Briese et al., 2001, Kraus e Pfeifer, 1998, 2001, Evans e Hudak, 2007, e Tinkham et al., 2011.

Diante desta temática, o principal objetivo deste trabalho foi o de comparar a geração de MDTs provenientes de diferentes filtros de classificação do solo de acesso livre. Além da comparação entre si, procedeu-se uma comparação dos resultados com cartas topográficas.

## 2. Descrição da área de estudo

O presente trabalho foi realizado com dados LiDAR disponibilizados no portal do *Remote Sensing Applications Center (RSAC)* pertencente ao Serviço Florestal Americano (*US Forest Service*). A área em estudo (Figura 1), citado por McGaughey (2012) e Andersen et al. (2005) está localizada em *Capitol State Forest* no oeste do estado de Washington (EUA). A floresta é composta por espécies de coníferas, incluindo douglas-fir (*Pseudotsuga menziessi*), hemlock ocidental (*Tsuga heterophylla*), cedro-vermelho ocidental (*Thuja plicata*), incluindo também espécies de madeira resistentes, tais como amieiro (*Alnus rubra*) e plátano (*Acer macrophyllum*). A área de estudo é um ambiente aonde pesquisas silviculturais são desenvolvidas, tais como a investigação dos efeitos causados por diferentes tipos e manejo de colheita florestal. Na área encontram-se solo exposto, campos arbustivos, florestas manejadas com corte seletivo e florestas com vegetação densa.

Estados Unidos da América - EUA  
Estado de Washington - WA

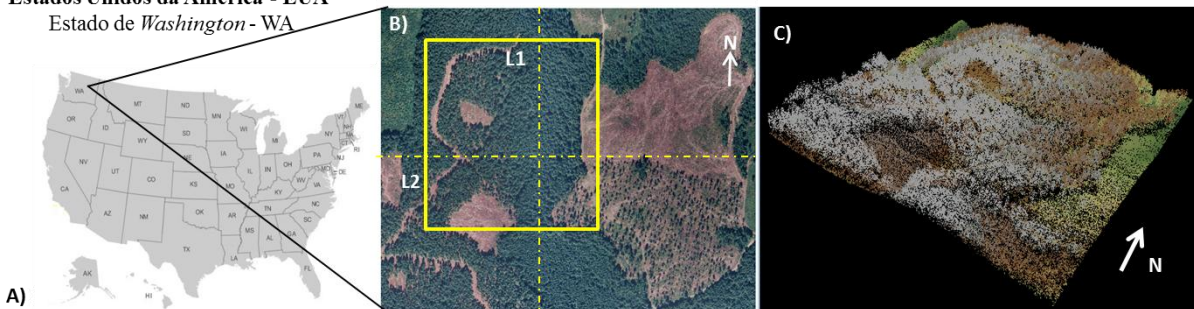


Figura 1. Detalhe da área de estudo no contexto nacional (A), fotografia aérea ortoretificada da *Capitol Forest* com detalhe a seleção de dois perfis para futura análise da elevação (B) e visualização 3D de uma área selecionada (retângulo amarelo) da área de estudo com dados aerotransportados LiDAR (C). Fonte: *Washington State Department of Natural Resources*.

Segundo Andersen et al. (2005), o sobrevôo LiDAR foi realizado na primavera de 1999 utilizando sensor de retorno discreto com um estreito campo de visada. O sistema “Saab TopEye” foi embarcado em um helicóptero que sobrevoou toda a área de estudo (Figura 1). Complementarmente a aquisição LiDAR, fotografias ortoretificadas foram adquiridas com uma resolução espacial de 30cm (Figura 1). Os dados foram gentilmente cedidos para fins educacionais pela *Washington State Department of Natural Resources* (McGaughey, comunicação pessoal). A Tabela 1 apresenta os parâmetros de voo e as configurações dos equipamentos utilizados para a aquisição dos dados LIDAR. Para cada retorno, foram incluídos o número de pulsos, número de retorno por pulsos, a correspondente localização em X e Y, elevação, ângulo de aquisição e a intensidade de retorno.

Tabela 1. Especificações dos dados aerotransportados LiDAR e dados gerados.

Atributos	Valores
Altitude de voo	200 m
Velocidade de voo	25 m/s
Largura da faixa imageada	70 m
Campo de imageamento	±8 graus
Densidade de pontos	4 pontos/ m <sup>2</sup>
Taxa dos pulsos	7.000 pontos/s
Máximo retorno por pulso	4
Diâmetro do feixe	40 cm

### 3. Material e Métodos

Os aplicativos usados para a classificação dos dados LiDAR foram: 1) *Multiscale Curvature Classification*, um aplicativo para classificação de nuvem de pontos LiDAR (MCC, <http://sourceforge.net/project/mccliDAR>; Evans e Hudak, 2007), 2) *GroundFilter*, um aplicativo do Fusion (GF, <http://forsys.cfr.washington.edu/fusion>; McGaughey, 2012), e 3) *LASground*, um aplicativo do LAStools (LG, <http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools>; Isenburg et al., 2006). O pacote MCC foi desenvolvido pela *US Forestry Science Rocky Mountain Research Station*, enquanto o Fusion/LDV pelo *US Forestry Science Pacific Northwest Research Station* e o LAStools atualmente de forma independente. Os dois primeiros são de livre acesso, enquanto que o terceiro é limitado para uso gratuito (cerca de 2 milhões de pontos).

Os dois últimos aplicativos fazem parte de um coletânea de aplicativos para processamento de dados LiDAR. Os três aplicativos possuem diferentes dados de entrada e se baseiam no princípio de interpolação da nuvem de pontos do topo para a base. Em função da alta densidade de pontos por m<sup>2</sup> dos dados (Tabela 1), sempre optou-se por selecionar os critérios mais rigorosos para a extração dos pontos de solo. Após a determinação dos pontos de superfície para cada método de classificação, os dados foram convertidos para uma grade regular contendo uma resolução espacial de 1m. O método de interpolação usado foi o de krigagem linear. Uma carta topográfica gerada a partir de restituição aerofotogramétrica foi usada para aferição dos dados LiDAR (Washington, 2012). A mesma possui uma resolução espacial de 10m.

Os resultados obtidos pela superfície interpolada de cada um dos três classificadores foi comparada com os dados da carta topográfica. Apesar da carta topográfica estar mais relacionada a um modelo digital de elevação (MDE), a comparação ainda é válida em função da indisponibilidade de medições mais precisas de campo baseadas em GPS diferencial. A comparação entre os dados obtidos pelos classificadores foi então comparada estatisticamente baseados no erro médio quadrático (RMSE; Equação 1), seu coeficiente de variância do erro médio quadrático (CV; Equação 2) e o erro absoluto médio (MAE; Equação 3).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2} \quad (1)$$

$$CV - RMSE (\%) = \frac{RMSE}{\bar{x}} * 100 \quad (2)$$

$$MAE(\%) = \frac{(\bar{y} - \bar{x})}{\bar{x}} * 100 \quad (3)$$

O  $y_i$  é o valor calculado (dado LiDAR classificado como solo) e  $x_i$  é o valor observado (valor correspondente da carta topográfica).  $\bar{x}$  é a média do valor observado e  $\bar{y}$  é a média do valor calculado. A Figura 2 mostra o fluxograma de atividades realizado nesse trabalho.

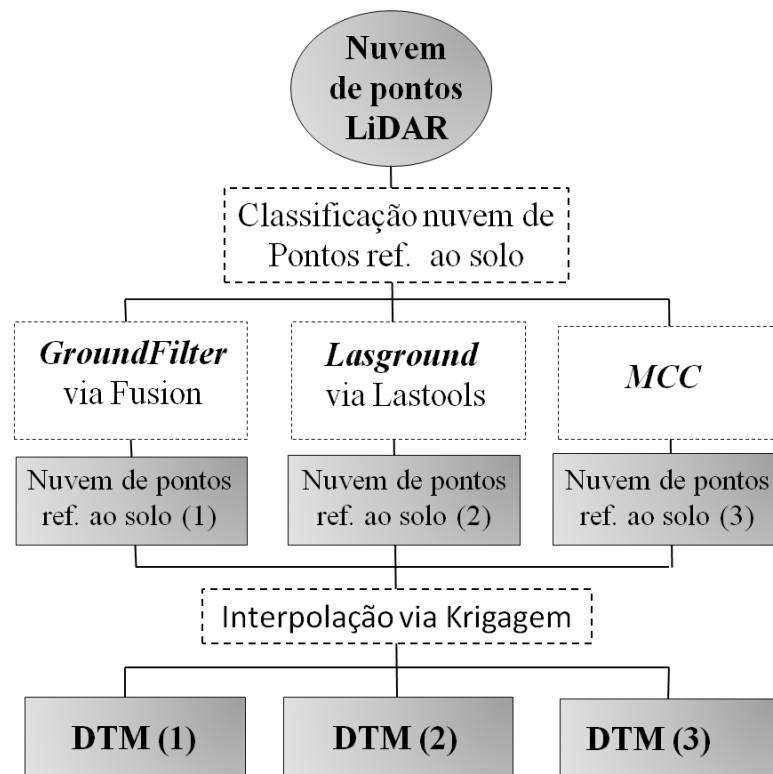


Figura 2. Fluxograma do processamento de dados LiDAR.

#### 4. Resultados e Discussões

Os três classificadores mostraram resultados similares para a classificação do solo (Figura 3). Para uma dada classificação, a densidade de pontos que atingiu o solo foi proporcional a densidade do número de árvores por hectare (ha) e cobertura de copas. Em áreas de solo exposto, a densidade foi de 4 pontos·m<sup>-2</sup> enquanto que em áreas de floresta densa inferior a 1 ponto·m<sup>-2</sup>. A maior densidade de árvores, bem como uma maior cobertura de copas, faz com que a maioridade dos pontos LiDAR fique no topo das copas. Os resultados corroboram com a literatura disponível sobre o tema em ambientes diversos (Ribas, 2010, Pacheco et al., 2011).

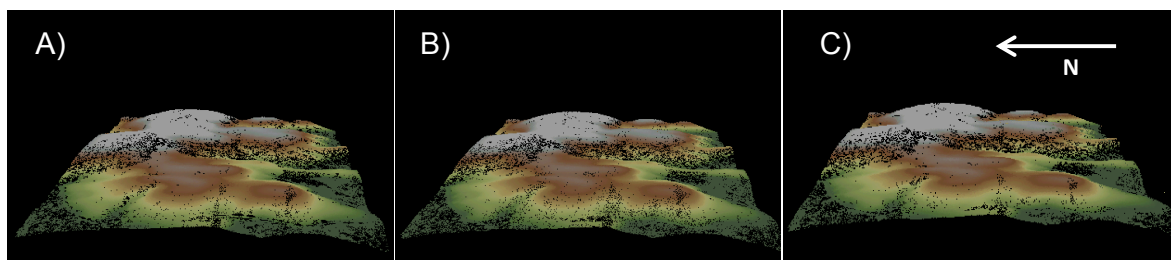


Figura 3. Representação tridimensional das classificações gerados pelo Fusion (A), Lastools (B) e MCC (C).

A geração dos MDTs por meio do interpolador krigagem foram similares para os diferentes classificadores (Figura 4). Isso foi devido a relativa similaridade da densidade dos pontos em cada grupo vegetational (Figura 3). Uma análise dos perfis de elevação (Figura 1B) não mostraram maiores efeitos residuais da vegetação após as classificações (Figura 5). A adequada filtragem dos pontos de solo está certamente relacionada ao fato dos algoritmos terem sido desenvolvidos para ambientes similares ao usado nesta investigação. Ainda, pela alta densidade de pontos LiDAR. Uma maior densidade de pontos LiDAR em áreas vegetadas

favorece a maior probabilidade de um ponto atingir a superfície do solo. Por se tratarem de áreas manejadas, o sub-dosel da floresta é em geral menos denso do que observado em áreas sem manejo bem como em florestas tropicais. Esse aspecto favorece a menor probabilidade dos pontos terem atingido a vegetação arbustiva ou mesmo sobre troncos caídos no interior da floresta (Figura 5).

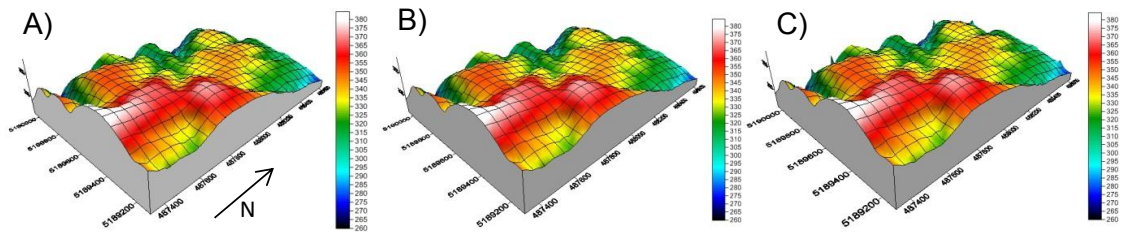


Figura 4. Representação tridimensional dos MTDs gerados pelas classificações em Fusion (A), Lastools (B), MCC (C). UTM: p1=487325.01, 5189510.50, p2=488630.65, 5189510.50

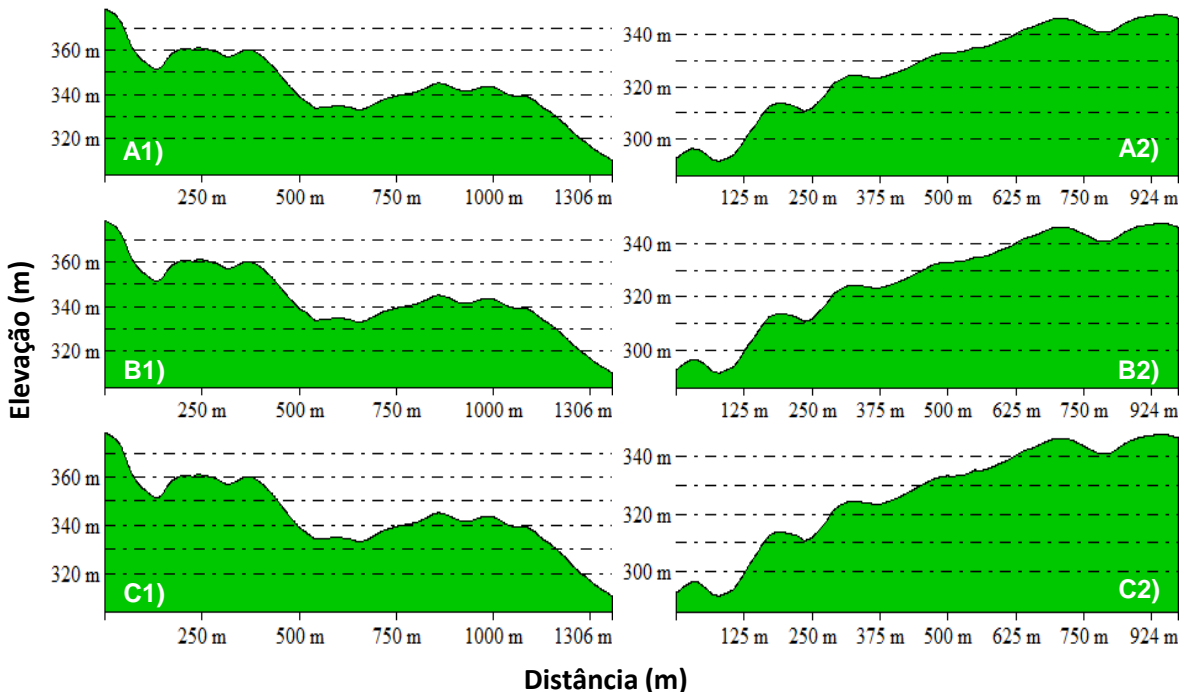


Figura 5. Perfis topográficos gerados pelo DTMs Fusion (A), lastools (B), e MCC (C). Os números após as letras indicam a posição das transeções em projeção UTM (Figura 1B), a saber: 1) Leste-Oeste (p1=487325.01, 5189510.50, p2=488630.65, 5189510.50 e 2) Norte-Sul (p3=487995.74, 5190044.02, p4= 487995.74, 5189120.30).

A comparação do desempenho entre classificadores pelo método da diferença simples (Figura 6) revelou uma dissimilaridade entre os resultados da classificação obtidos pelo MCC (Figuras 6A, 6B) aos obtidos pelos métodos Lastools e Fusion (Figura 6C). Os dois últimos revelaram diferenças mínimas entre si, indicando uma similaridade no desempenho classificatório (Figuras 6D, 6E, 6F). As diferenças negativas, observadas pelo MCC quando comparado seja pelo método Lastools ou Fusion, estiveram restritos a pontos individuais. Uma interpretação visual sobre a fotografia aérea ortorectificada (Figura 1B), MDTs (Figuras 6D, 6E, 6F) e MDE (restituição aerofotogramétrica) mostram que os pontos negativos estão relacionados a mudanças abruptas de relevo e de transição entre classes de uso do solo. Um aspecto interessante também está relacionado na variação do intervalo das diferenças observadas entre os classificadores. Enquanto a variação de 20m é observada para o MCC, o

valor é reduzido para 2m para os demais métodos. Entretanto, a distribuição espacial dos pontos espúrios é quase que idêntica. Uma edição manual sobre os pontos individuais se faz então necessária

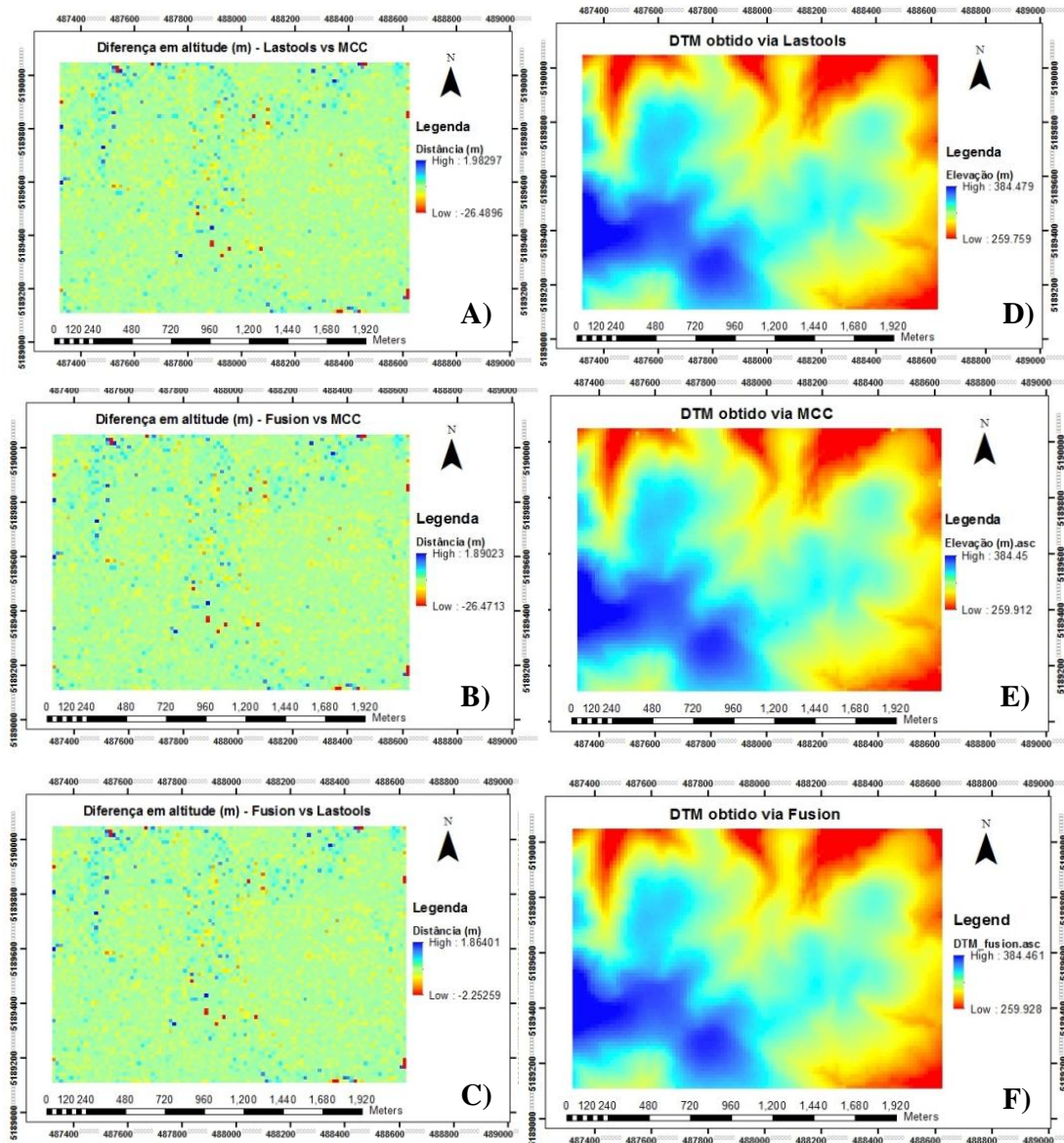


Figura 6. Diferenças entre as classificações geradas pelo Fusion (A), Lastools (B) e MCC (C).

A Tabela 2 mostra os resultados dos testes estatísticos empregados. Os três métodos de classificação apresentaram resultados similares de RMSE, CV-RMSE e MAE, com maiores valores entretanto atribuídos ao classificador MCC. Embora com estatísticas similares, uma análise dos histogramas obtidos pelos diferentes classificadores (Figura 7). Uma análise mais detalhada referente aos diferentes tipos de uso do solo é portanto recomendada.

Tabela 2. Resultados dos testes estatísticos.

DTM	Testes Estatísticos		
	RMSE	CV-RMSE (%)	MAE (%)
Fusion	7.9011	2.3391	1.9554
Lastools	7.8603	2.3484	1.9696
MCC	7.8928	2.3501	1.9693

Obs.: Foram pareados 1.048.575 pontos para execução dos testes estatísticos

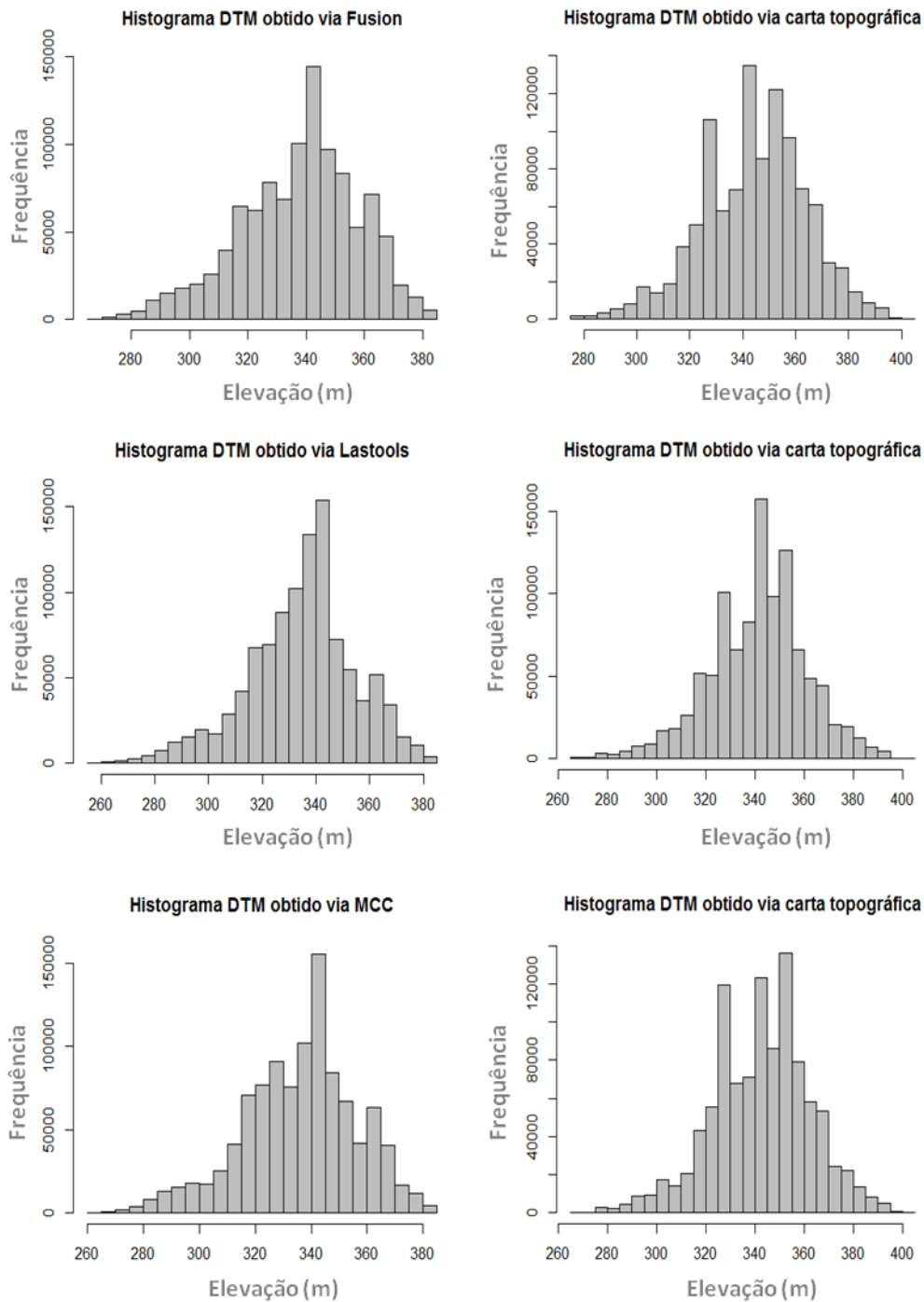


Figura 7. Diferenças entre as classificações geradas pelo Fusion (A), Lastools (B) e MCC (C).

### 5. Conclusões e Recomendações

As classificações descritas na presente investigação, embora similares representam uma sugestão acessível e satisfatória para obtenção automática de MDTs. Os mesmos podem ser aplicados em regiões planas e moderadamente onduladas com diferentes tipos de vegetação, requerendo uma mínima intervenção manual de edição dos pontos. A qualidade dos MDTs gerados devem ser constadas preferencialmente em campo com medições de GPS diferencial.

Futuros estudos devem envolver uma análise mais detalhada dos resultados em diferentes classes de uso do solo. Os efeitos de uma adequada classificação podem então ser avaliadas

para a determinação de árvores individuais de maneira similar ao proposto por Oliveira et al. (2012).

## 6. Agradecimentos

À *Washington State Department of Natural Resources* pela cessão dos dados aerotransportados LiDAR e imagens para a realização desse estudo. A FAPESP e ao CNPq pelas bolsas concedidas.

## 7. Referências Bibliográficas

- Andersen, H.-E., McGaughey, R.J., Reutebuch, S.E. Forest Measurement and Monitoring using high-resolution airborne LiDAR. *Productivity of Western Forests: A Forest Products Focus*, 2005.
- Briese, C.; Pfeifer, N. Airborne Laser Scanning and Derivation of Digital Terrain Models. Fifth Conference on Optical 3-D Measurement Techniques. Vienna, Austria, 2001.
- Evans, J.S.; Hudak, A.T. A multiscale curvature algorithm for classifying discrete return lidar in forested environments. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, p. 1029-1038, 2007.
- Hodgson, M.E.; Bresnahan, P. Accuracy of Airborne Lidar-Derived Elevation : Empirical Assessment and Error Budget. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 70, n. 3, p. 331-339, 2004.
- Hudak, A.T., Evans, J.S., Stuart Smith, A.M. LiDAR Utility for Natural Resource Managers. *Remote sensing*, 1(4), (2009). 934–951.
- Isenburg, M.; Liu, Y.; Shewchuk, J.; Snoeyink, J.; Thirion, T. Generating raster DEM from Mass Points via TIN Streaming. In: GIScience'06. **Proceedings ...**, Articles, p. 186 - 198, 2006.
- Kraus, K., Pfeifer, N. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 53, p. 193-203, 1998.
- Kraus, K; Pfeifer, N. Advanced DTM Generation from LiDAR data. **International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 34, n. 3/W4, p. 23-30, 2001.
- McGaughey, R.J. FUSION/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization. V.3.10. Washington DC: USDA/Forest Service, p. 170, 2012.
- Meng, X., Currit, N., Zhao, K. Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues. **Remote Sensing**, v. 2, n. 3, p. 833-860, 2010.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center. LiDAR 101: An Introduction LiDAR Technology, Data, and Applications. Charleston, SC: NOAA Coastal Services Center. 2008. Disponível em: [http://www.csc.noaa.gov/digitalcoast/\\_/pdf/What\\_is\\_Lidar.pdf](http://www.csc.noaa.gov/digitalcoast/_/pdf/What_is_Lidar.pdf) . Acesso em 10 nov. 2012
- Oliveira, L.T.; Carvalho, L.M.T.; Ferreira, M.Z.; Oliveira, T.C.A.; Acerbi Junior, F.W. Application of LiDAR to Forest Inventory for tree count in stands of *Eucalyptus* sp. **Cerne**, v. 18, n. 2, 2012.
- 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**, v. 17, n. 3, p. 417-438, 2011.
- Reutebuch, S.E., Andersen, H.-E., McGaughey, R.J. Light detection and ranging (LIDAR): an emerging tool for multiple resource inventory. **Journal of Forestry**, v. 103, n. 6, p. 286-292, 2005.
- Ribas, R.P. Mapeamento de córregos de cabeceira sob dosséis florestais utilizando dados LiDAR. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, p. 123-129, 2010.
- Tinkham, W.T.; Huang, H.; Smith, A.M.S.; Shrestha, R.; Falkowski, M.J.; Hudak, A.T.; Link, T.E.; Glenn, N.F.; Marks, D.G. Comparison of Two Open Source LiDAR Surface Classification Algorithms. **Remote Sensing**, v.3, p. 638-649, 2011.
- Washington. Disponível em : <http://gis.ess.washington.edu/data/raster/tenmeter/byquad/index.html>. Acesso em 10 nov. 2012