

## Modelagem de fustes em plantio de *Eucalyptus* spp a partir da varredura laser terrestre

Israel Jacó Kaczmarek <sup>1</sup>  
Christel Lingnau <sup>1</sup>  
André Leonardo Bortolotto Buck <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Caixa Postal - 80210 - 170 - Curitiba - PR, Brasil  
israelkacz@gmail.com  
lingnau@ufpr.br  
andrebruck.sf@gmail.com

**Abstract.** The objective was to perform the modeling of trunk sections through the cloud of points. The data were obtained in clonal plantations of *Eucalyptus* spp., with multiple terrestrial laser scanning in circular plots (400m<sup>2</sup>). The plantation has 2, 4 and 5 years and spacing 3.6 x 2.2 m. The registration of the point clouds was performed to allow the analysis of multiple scans in a single coordinate system. Subsequently, the trees were isolated in a semi-automatic way by Label Connected Components algorithm. The total height was obtained from the difference of the maximum and minimum elevation (Zmin and Zmax) for each tree. The filtering of trees previously isolated was performed using the FDmax algorithm, which allowed the application of trunk modeling using an irregular triangular network (TIN). The trunks were divided into 2 meters sections for the three-dimensional modeling and a posteriori were compared with the field data obtained by the conventional method. The volume obtained by modeling of de three different trees were compared with data obtained by Smalian method, the determination of the volume in the 2 years tree and 5 years tree until third and fifth log respectively presented differences smaller than 15% and below to the volume estimate by Smalian method that tend to overestimate de volume. And the 4 years tree only the first log presented volume below and with difference of 15% compared to Smalian. The main problem was in tree crown, which the branch interfere in process to obtain points of the trunk.

**Palavras-chave:** cloud point, 3D modeling, triangular irregular network.

### 1.Introdução

A aplicação da varredura laser terrestre para a obtenção de variáveis dendrométricas tem apresentado resultados promissores, Thies e Spiecker (2004) por exemplo, compararam dados obtidos(DAP; Altura total) através de varreduras laser com os obtidos por meio de métodos tradicionais (suta e fitas métricas) e demonstraram um desvio padrão de 1,3% entre estes e os obtidos através da nuvem de pontos.

Os métodos convencionais para tomada de dados em inventários florestais mobilizam grandes equipes e estão sujeitos a erros relacionados à coleta de dados – sejam eles erros humanos causados por má operação dos equipamentos ou erros causados por defeitos nos equipamentos – e por vezes até mesmo na transcrição dos dados coletados (Hopkinson *et al.* 2004). Além disso, os equipamentos tradicionalmente utilizados, tais como a suta e o hipsômetro, possuem menor precisão na tomada das medidas quando comparados aos dados obtidos via varredura laser terrestre (TLS) Thies e Spiecker (2004). Ainda há a possibilidade da visualização dos dados em ambiente tridimensional, o que propicia uma análise mais completa da real situação de um povoamento. Tais características contribuem para inventários florestais possivelmente mais confiáveis.

No Brasil os estudos desta tecnologia para levantamento em florestas estão relacionados à obtenção da altura total, de diâmetros a diferentes alturas e do volume total de árvores. Os resultados, entretanto, ainda esbarram em problemas de precisão, uma vez que existe a presença de ruídos relacionados à galhos, folhas e eventual presença de sub-bosque. Lingnau *et al.* (2009) e Martins Neto *et al.* (2012)

## 2. Metodologia

O estudo foi realizado em plantios clonais de *Eucalyptus* spp, com idade de 2, 4 e 5 anos e com espaçamento de 3,6 x 2,2 m, da empresa Eldorado Celulose e Papel S.A., Três Lagoas – MS.

A varredura laser foi conduzida em 12 parcelas circulares de 400 m<sup>2</sup>, sendo quatro parcelas para cada idade. Em cada parcela foram realizadas cinco varreduras. O equipamento foi posicionado no centro da parcela e quatro posições fora da parcela, formando um quadrilátero (Figura 1).

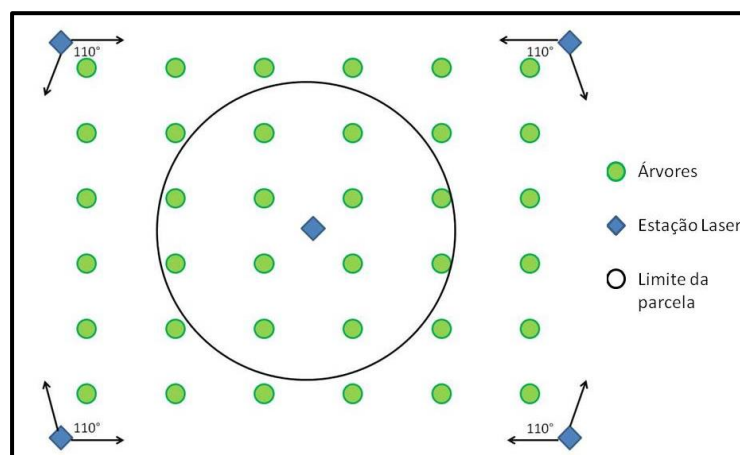


Figura 1. Localização do equipamento laser para as cinco varreduras realizadas na parcela circular.

Varreduras múltiplas são imprescindíveis quando o objetivo é obter o total recobrimento do fuste por pontos laser com a finalidade de realizar a modelagem do fuste e sem dúvida auxiliam no processo de identificação. Tendo em vista que cada varredura é feita em um sistema de coordenadas local, é necessário efetuar o registro das nuvens para que todas as varreduras sejam transformadas para o mesmo sistema de coordenadas. Alvos esféricos foram instalados na parcela para auxiliar no processo de registro (Figura 2). Cinco alvos foram distribuídos na parcela de tal forma que fosse possível visualizar ao menos três alvos em cada estação de varredura, número mínimo de pontos de referência para efetuar o registro.



Figura 2. Distribuição dos alvos esféricos em uma parcela circular.

A individualização das árvores na parcela circular a partir da varredura múltipla foi realizada com o algoritmo *Label Connected Components*, o qual possibilita a divisão da nuvem de pontos em conjuntos (árvores) a partir do número máximo e distância mínima dos

pontos. Devido a grande dimensionalidade dos dados, optou-se em extrair uma seção de 1 metro (0,5 m abaixo e 0,5 m acima da altura do laser), por ser a região que apresenta menor influência do sub-bosque e galhos, fatores que podem prejudicar a individualização. Finalmente, foi verificado de forma manual se todos os objetos individualizados se tratam realmente de árvore ou outro alvo.



Figura 3. Parcela antes e após a individualização representada por uma seção transversal com 1 metro de espessura.

As árvores isoladas da parcela apresentavam uma série de ruídos, como pontos de terreno, sub-bosque, intersecção de copas e galhos, os quais foram removidos com o Filtro “Distância Máxima” (Filtro Dmax) (Buck 2014). O Filtro Dmax realiza a filtragem da nuvem de pontos da árvore em segmentos verticais, que são calculados pela razão entre a altura total da árvore e a espessura definida para a seção, onde na primeira seção é realizado o ajuste de circunferência com o objetivo de estimar as coordenadas de centro da seção e o raio da circunferência ajustado. Finalmente é realizada a seleção dos pontos pertencentes ao tronco, utilizando como critério a estabilização do desvio padrão da distância euclidiana entre os pontos do tronco e o centro da circunferência ajustada. Como resultado é gerado uma nova nuvem com apenas pontos do tronco.

A modelagem tridimensional dos fustes é realizada por meio da rede irregular de triângulos (TIN) (Aschoff *et al.*, 2004). Os resultados obtidos na modelagem foram comparados com dados de cubagem convencional, adotou-se a modelagem em seções de 2 metros a partir da altura de corte da árvore (0,15 metros).

### 3. Resultados e Discussão

#### FILTRAGEM

Os resultados obtidos na filtragem de cada idade foram diferentes, sendo possível filtrar 42, 59 e 74 % do tronco nas idades 2, 4 e 5 anos, respectivamente. O principal problema encontrado foi o encobrimento causado pelos galhos e folhas que formam a copa, o que reduz o número de pontos na superfície do tronco em direção ao ápice da árvore. O problema é mais recorrente em árvores menores (Figura 4), pois possuem mais galhões e folhas em sua copa.

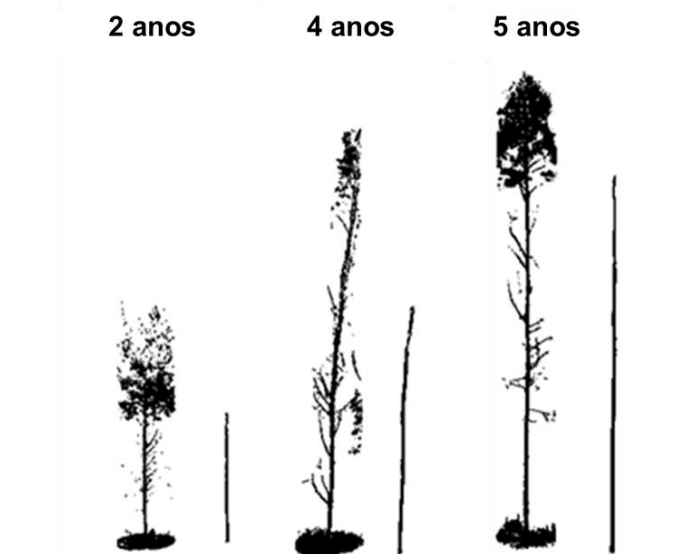


Figura 4. Árvores antes e após a aplicação do filtro Dmax nas 3 idades

### MODELAGEM TRIDIMENSIONAL

A modelagem manteve as características das toras para a obtenção do volume, contudo ocorreram problemas próximos à copa das árvores. A porcentagem do tronco modelada teve a mesma sequência que na filtragem, diminuindo da árvore mais velha para a mais nova, sendo possível modelar 35, 40 e 65% em relação a altura total da árvore nas idades de 2, 4 e 5 anos respectivamente. Uma tora representada com alta densidade de pontos permite realizar uma modelagem precisa (Figura 5A), representando-a de forma fidedigna. No entanto, quando ocorre ausência de pontos do tronco (Figura 5B), não ocorre uma correta representação da superfície para modelagem.

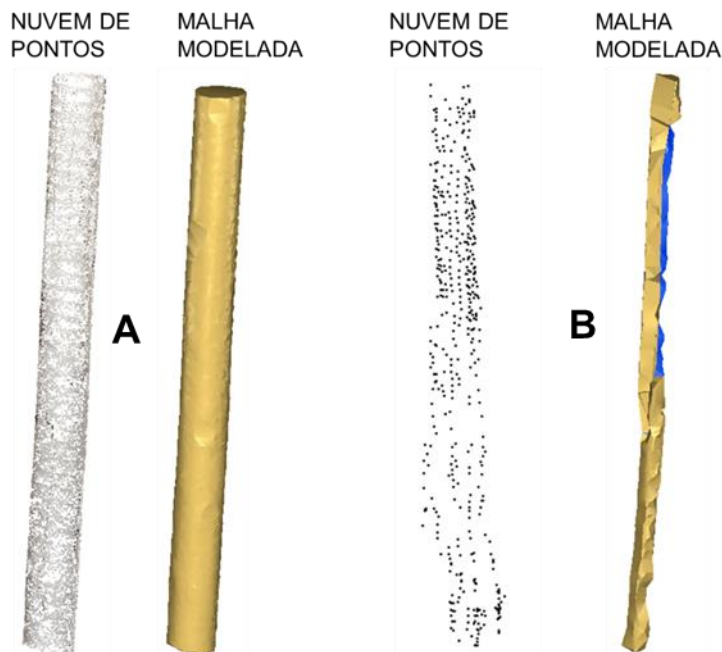


Figura 5. Nuvem de pontos modelada corretamente e não modelada.

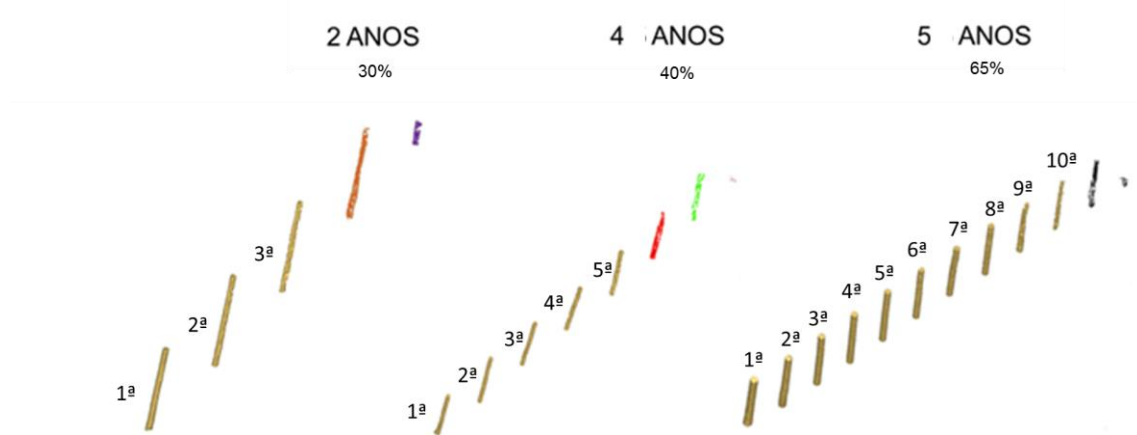


Figura 6. Modelagem dos troncos seccionados em toras nas 3 diferentes idades.

### VOLUME

Os resultados obtidos a partir dos diferentes métodos de obtenção do volume do tronco em seções (toras) de dois metros de comprimento nas três idades podem ser visualizados nas figuras abaixo.

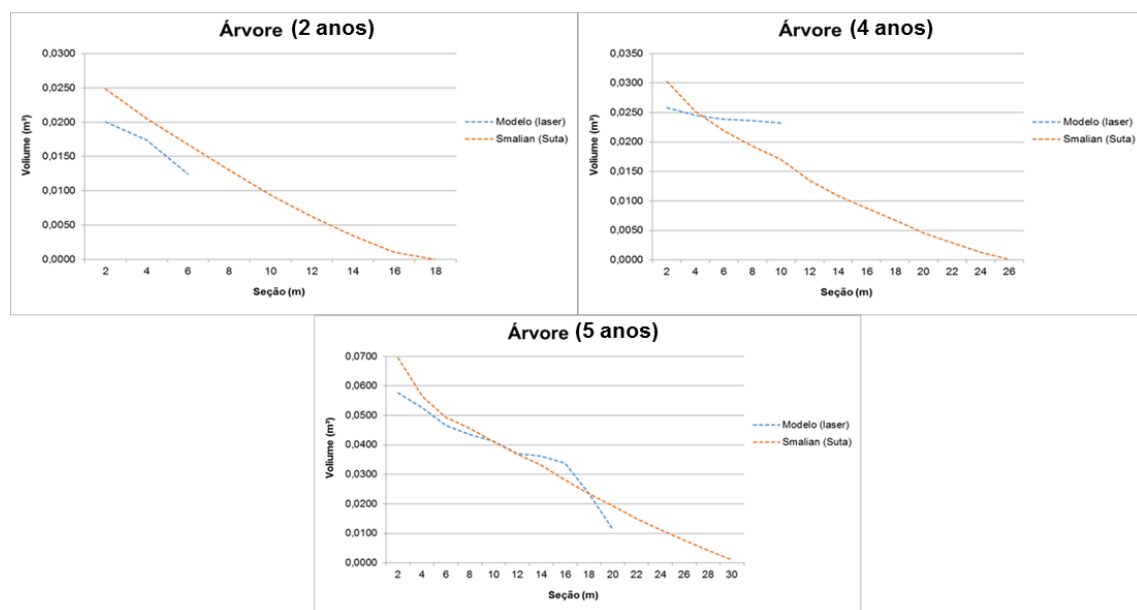


Figura 7. Perfis dos troncos nas três idades obtidas pelo modelo laser e Smalian (suta).

De acordo com os gráficos é possível avaliar que a determinação do volume a partir da modelagem tridimensional dos dados laser na árvore de 2 e de 5 anos até a 3ª tora e 5ª tora respectivamente apresentam resultados muito similares ao volume estimado pelo método de cubagem por Smalian. O método de Smalian apresenta tendências em superestimar o volume das toras (Figura 7). A partir da 5ª tora na idade de 5 anos ocorreu a superestimação do volume, o que pode ser explicado pela presença de pontos laser representados por galhos, os quais não foram totalmente eliminados pela filtragem. Na árvore de 2 anos não foi possível obter volume das toras acima de 6m devido a alta densidade da copa e conseqüentemente falta de pontos laser na superfície do tronco. A árvore de 4 anos somente o volume da primeira tora se mostrou abaixo do que o obtido por Smalian. Após a primeira tora os valores obtidos foram



maiores que o do método Smalian, esse fato pode ser explicado por problemas desde a filtragem desta árvore, que apresentava tortuosidade e galhos próximos a sua base. (Figura 8)



Figura 8. Árvore de 4 anos com tortuosidade e galhos próximos a base.

#### 4. Conclusões

O modelo tridimensional dos troncos, gerado a partir dos dados de varredura laser terrestre apresentou ótimos resultados, pois manteve as características da forma do tronco e possibilitou a obtenção de dados de volume próximos nas seções sem muitas interferências dos galhos. Os principais problemas encontrados na análise dos dados estão relacionados à falta de pontos do tronco na região da copa da árvore, dificultada pelo encobrimento causado pelos galhos e folhas.

A reconstrução da parte superior das árvores deve ser considerada para que se possa obter o volume total da árvore por meio da modelagem de dados laser.

#### Agradecimentos

A empresa Eldorado do Brasil pelo apoio ao projeto de pesquisa, pela disponibilização das áreas e equipe para auxílio na coleta de dados. A Santiago & Cintra por disponibilizar o equipamento Trimble TX5 e o suporte técnico para a realização da coleta de dados em campo.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC por ter concedido uma bolsa de pesquisa para realização desse estudo.

#### Referências Bibliográficas

Aschoff, T.; Spiecker, H. Algorithms for the automatic detection of trees in laser scanner data. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v.36, n.8/w2. Freiburg, 2004.

Aschoff, T.; Thies, M.; Spiecker, H. Describing forest stands using terrestrial laser-scanning. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v.35, comm.5, p.237- 241, 2004.

Bienert, A.; Maas, H.G.; Scheller, S. Analysis of the information content of terrestrial *laserscanner* point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. In: **Workshop on 3D Remote Sensing in Forest**, 14-15. Vienna, 2006

Buck, A. L. B. **Análise de métodos de filtragem em dados *laser scanner* terrestre aplicados à modelagem tridimensional do tronco de *Pinus spp.*** 2012. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, 2012.

Buck, A. L. B ; Silva, M. N. ; Lingnau, C. ; Machado, A.M.L ; Martins Neto, R. P. . Um algoritmo para filtragem do tronco de nuvem de pontos laser terrestre de árvores de *Pinus spp.* **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S.l.], v. 20, n. 4, dez. 2014.

Buck, A. L. B ; Silva, M. N. ; Lingnau, C. ; Machado, A.M.L ; Martins Neto, R. P. ; Pesck, V. A. . Avaliação da modelagem tridimensional do tronco de *Pinus elliottii* a partir de dados *laser* terrestre. **Ambiência**. v. 8, p. 549-557, 2012.

Hopkinson, C.; Chasmer, L., Young-Pow, C., Treitz, P., 2004. Assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar. **Canadian Journal of Forest Research**, 34, pp. 573-583.

Lingnau, C.; Machado, A.M.L.; Bavaresco Junior, A.; Colla, F.L. Determinação de diâmetros a diferentes alturas de árvores individuais a partir de dados *laser* terrestre. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009.

Litkey, P. et al. Single-scan TLS methods for Forest parameter retrieval. In: **Silvilaser 2008**, 2008, Edinburg UK. p. 295 – 304.

Martins Neto, R. P. ; Lingnau, C. ; Machado, A.M.L ; Buck, A. L. B ; Silva, M.N. ; Pesck, V. A. . Modelagem da seção transversal de *Pinus taeda* L. por meio da varredura *laser* terrestre. In: X SenGeF - X Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados à Engenharia Florestal, 2012, Curitiba. **Anais...**, 2012. p. 776-783.

Simonse, M., Aschoff, T., Spiercker, H., Thies, M., 2003: Automatic Determination of Forest Inventory Parameters Using Terrestrial *Laser scanning*. **Proceedings of the ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests**, Umeå/Sweden, 2003. p. 251- 257.

Thies, M.; Spiecker, H. Evaluation and future prospects of terrestrial *laser* scanning for standardized forest inventories. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. xxxvi – 8/w2. Freiburg, 2004.

