

Varredura com laser terrestre para determinação das variáveis dendrométricas da *Araucaria angustifolia*

Matheus Nunes Silva ¹
André Leonardo Bortolotto Buck ¹
Christel Lingnau ²
Álvaro Muriel Lima Machado ³
Bruno Palka Miranda ⁴

¹ Mestrandos em Eng. Florestal da Universidade Federal do Paraná – UFPR
Av. Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico - Curitiba PR - CEP: 80210-170
matheusnssilva@gmail.com / andrenado@ibest.com.br

² Prof. Dr^a. do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná – UFPR
Av. Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico - Curitiba PR - CEP: 80210-170
lingnau@ufpr.br

³ Prof. Dr. do Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná – UFPR
Av. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas– Curitiba PR- CEP: 81.532-980
alvaroml@ufpr.br

⁴ Aluno de iniciação científica do laboratório de geoprocessamento no curso de Eng. Florestal da Universidade Federal do Paraná – UFPR
Av. Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico - Curitiba PR - CEP: 80210-170
bruno_palka@hotmail.com

Abstract

The aim of this study was to realization of multiple terrestrial laser scanning, using equipment Leica HDS3000, an individual of *Araucaria* in order to demonstrate the possibilities and quality of dendrometric results that can be obtained with laser processing. Conventional measurements were realized to validate the results. The laser processing was done using the Leica *Cyclone* software for union of the point cloud and filtering visual tree trunk. Algorithms were implemented in *Visual Basic for Applications* to determine the variables of trunk height, diameter and volume. The diameters along the trunk were calculated by two different methods: Method 1 and 2, in the first one sets the diameter of each slice the distance between the farthest points, in the second a great center is adjusted by the Simplex method for each slice and the distance average between the points and center defines the radius of the section. The volume was calculated by the cubage Smalian method. Promising results were found for the variables under study, the height taken in processing of laser was 23 cm shorter than the height field and diameter had an average error of -0.83 and 1.44 cm compared to conventional data Method 1 and 2 respectively. The volume followed the same trend of the results of diameters. Laser technology becomes promising opening new possibilities for studies involving applications of techniques to improve the results.

Palavras-chave: forest inventory, stem modeling, diameters along the stem, inventário florestal, modelagem do tronco, diâmetros ao longo do tronco.

1. Introdução

O Brasil, na década de 60, viveu sua grande expansão industrial, o que exigiu o desenvolvimento de diversos setores, entre eles, o setor florestal, de forma a reduzir a dependência de produtos importados. Neste contexto, considerando ainda as amplas explorações anteriores, o estoque de florestas naturais de araucária apresentava sinais de esgotamento (ZANON, 2007).

Atualmente, a espécie é encontrada em áreas reduzidas, tanto em sua formação primária como em florestas secundárias, provenientes da regeneração natural ocorrida após a exploração desenfreada. Estimativas apontam entre 1 a 2% de áreas originais cobertas pela floresta com araucária nos três estados do sul (KOCH e CORRÊA, 2002).

Este cenário forçou o poder público a criar leis buscando parar com a exploração insustentável da araucária. O código florestal de 1965 (Lei nº 4.771) estipula em seu artigo 14º alterado pela medida provisória nº 2.166-67 de 2001 ao poder público o direito de proibir ou limitar o corte das espécies vegetais raras, endêmicas, em perigo ou ameaçadas de extinção, bem como as espécies necessárias à subsistência das populações extrativistas.

Através da Portaria Nº 37-N, de 1992, o IBAMA torna pública a Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção, constando entre elas a *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze, conhecida como araucária ou pinheiro do Paraná.

Sendo assim a resolução CONAMA nº 278 de 2001 determinou ao IBAMA a suspensão das autorizações concedidas por ato próprio ou por delegação aos demais órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), para corte e exploração de espécies ameaçadas de extinção, constantes da lista oficial daquele órgão, em populações naturais no bioma Mata Atlântica, até que sejam estabelecidos critérios técnicos, cientificamente embasados, que garantam a sustentabilidade da exploração e a conservação genética das populações exploráveis. Por fim, a lei da mata atlântica (lei nº 11.428/2006) proíbe o corte ou supressão de vegetação que abrigue flora ou fauna ameaçada de extinção.

Neste contexto legal estudos envolvendo crescimento, qualidade da madeira e quantificação de biomassa com a espécie araucária, acabam sendo comprometidos devido à difícil obtenção de variáveis dendrométricas como, por exemplo, diâmetros ao longo do fuste, utilizados para ajuste de equações de volume e funções de forma, que quando coletados por métodos de medição direta são inviáveis sem a derrubada da árvore (BIENERT *et al.* 2006a), pois demandam muito tempo e custo e possibilitam a ocorrência de erros fortuitos (HOPKINSON *et al.*, 2004).

Os equipamentos laser scanner terrestre tem apresentado grande potencial na determinação de parâmetros dendrométricos (LICHTI *et al.* 2000, 2002). A tecnologia permite a obtenção de dados tridimensionais acerca dos alvos, gerando informações com alta precisão sobre a geometria ao longo do tronco da árvore possibilitando informações a respeito da tortuosidade, forma, inserção de galhos e danos que possam ocorrer no tronco (MAAS *et al.*, 2008).

Dados os quesitos legais apresentados e o potencial da tecnologia laser scanner terrestre o objetivo deste trabalho foi a realização de varredura múltipla de um indivíduo de araucária buscando mostrar as possibilidades e a qualidade dos resultados dendrométricos que se pode obter com o processamento da nuvem de pontos.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Coleta de dados

O objeto de estudo foi uma árvore de araucária isolada no pátio do campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. Trata-se de uma árvore sadia, em estado

adulto e de pequena dimensão. Esta árvore foi escolhida por estar isolada e possuir um porte que facilita as medições diretas sem que exista a necessidade da derrubada.

Os dados foram obtidos usando varredura laser terrestre e medições diretas para avaliar a qualidade dos resultados laser.

As informações laser foram coletadas por meio de varredura múltipla, que trabalha com mais de um ponto de varredura laser para um mesmo objeto, permitindo um maior recobrimento das faces do tronco (THIES E SPIECKER 2004). As nuvens de pontos das múltiplas varreduras são unidas em um processamento que as coloca em um mesmo sistema de coordenadas através do uso de alvos topográficos posicionados no local em ambas as varreduras (BIENERT *et al.*, 2006b).

O equipamento Leica HDS3000 utilizado foi posicionado entre 15 e 20 metros de distância da árvore e configurado com uma resolução de 1 ponto a cada 5 mm (Figura 1a e 1b). As informações técnicas do aparelho constam na Tabela 1.

Tabela 1: Características do equipamento Leica HDS3000 (Fonte: Leica)

Características técnicas	
Aquisição de pontos	Até 1800 pontos por segundo
Campo de visada	360° (horizontal) x 270° (vertical)
Acurácia posição/distância	6 mm/4 mm (1 a 50m) - 1 Sigma
IFOV	60x60 micro - 1 sigma
Alcance	Até 100m

A medição direta das variáveis altura total do tronco e circunferências (transformadas em diâmetros) foram feitas usando fita métrica. A coleta de diâmetros foi realizada em 17 alturas conforme exemplificado na Figura 1c.



Figura 1: a) equipamento laser em operação; b) medições diretas em campo; c) altura das medições das circunferências.

2.2 Processamento dos dados laser

Os dados laser coletados foram processados no software *Cyclone* da Leica onde se realizou a união das nuvens de pontos e a filtragem visual do tronco da árvore. Posteriormente foram exportados para um arquivo texto contendo unicamente as coordenadas do fuste. Com base neste arquivo texto foram criados algoritmos utilizando o software *Visual Basic for*

Applications (VBA) presente no pacote do *Excel* para determinação das variáveis: altura do tronco, diâmetros e volume.

A determinação da altura do tronco foi realizada através da subtração entre a coordenada Z do ponto de maior e menor cota oriundos da filtragem visual.

Para determinação de diâmetros nas alturas equivalentes as medidas em campo, conforme exemplificado na Figura 1c, criou-se um algoritmo que separa os pontos pertencentes a cada fatia com uma espessura de 1cm, que é equivalente a largura da fita métrica utilizada na medição direta. Os diâmetros ao longo do tronco foram calculados por dois métodos distintos.

O primeiro método, ao qual foi atribuído o nome de Método 1, é a aplicação da metodologia desenvolvida por Lingnau *et al.* (2009) onde um algoritmo lê os dados das fatias e encontra as coordenadas X_{\min} , X_{\max} , Y_{\min} , Y_{\max} , correspondentes a mínimos e máximos de abscissas e ordenadas. A distância planimétrica é calculada entre o ponto que possui a coordenada X_{\min} e o que possui X_{\max} , o mesmo é realizado com Y_{\min} e Y_{\max} . Entre as duas distâncias a maior delas é escolhida como provável diâmetro. O segundo passo avalia a distância de todos os pontos da fatia a estes dois pontos, substituindo um deles cada vez que se encontram distâncias maiores. Ao final, a distância entre os pontos mais afastados é adotada como diâmetro da fatia.

O segundo método, ao qual foi atribuído o nome de Método 2, encontra os diâmetros através da minimização do desvio padrão da distância euclidiana entre um centro hipotético da circunferência e os pontos que definem a fatia utilizando o método Simplex. O ponto central ótimo, que minimiza esta função, é definido como centro da fatia e a distância média entre este e os demais pontos é considerado o raio da fatia a partir do qual é determinado o diâmetro.

Com os diâmetros e alturas obtidos o cálculo de volume foi realizado seguindo o método de cubagem de Smalian.

3. Resultados e Discussão

3.1 Altura total do fuste

Em campo a altura do tronco obtida com fita métrica foi 6,02 metros e com o laser scanner terrestre esta foi de 5,79 metros, resultando em uma diferença de 23 cm abaixo da altura medida em campo.

Percebe-se que as subestimativas das alturas obtidas por processamento laser têm sido uma tendência independente da espécie avaliada. Os autores Lingnau *et al.* (2010) com medições em *Pinus taeda*, Hopkinson *et al.* (2004) em povoamentos de *Pinus resinosa* e misto de espécies decíduas e Wezyk *et al.* (2007) em povoamentos de Oak (*Quercus* sp.) e Beech (*Fagus sylvatica*) relatam a mesma problemática e atribuem os erros a alta densidade de copa e ao mau posicionamento do equipamento (LINGNAU *et al.*, 2010), a uma baixa densidade amostral de pontos no dossel superior devido a entre posição de copas de árvores do dossel inferior no campo de visada do laser (HOPKINSON *et al.*, 2004), e ao fato de os pequenos galhos da copa não serem claramente identificados pela varredura laser ao se trabalhar com espécies decíduas (WEZYK *et al.*, 2007).

3.2 Diâmetros e volume

O processamento da nuvem de pontos laser realizada através dos métodos 1 e 2 permitiu a reconstrução do perfil longitudinal do fuste e a comparação com os valores de diâmetros obtidos em campo. A Figura 2 mostra o traçado do perfil longitudinal do fuste para os valores de diâmetro medidos em campo e aqueles obtidos pelo processamento dos dados laser.

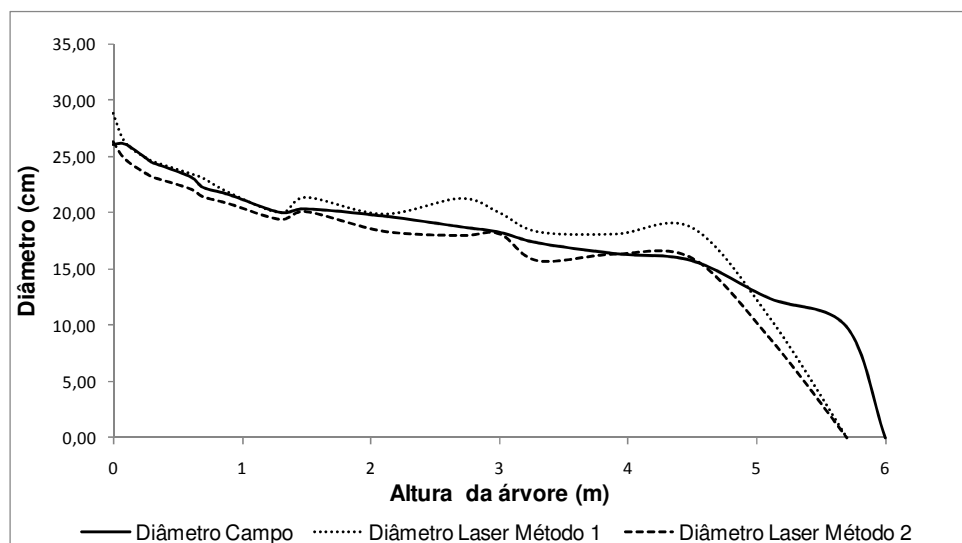


Figura 2: Traçado do perfil longitudinal do fuste.

As curvas do perfil longitudinal confeccionadas com dados do processamento laser para os métodos 1 e 2 apresentaram forma semelhante, porém o método 1 ajustou-se melhor a curva dos diâmetros de campo na base da árvore, onde ocorre sobreposição à curva dos pontos de diâmetros em campo. O método 2 apresenta, em geral, uma curva deslocada abaixo da curva dos diâmetros de campo. Uma inferência sobre as tendências de cada método pode ser observada por meio da distribuição de resíduos na Figura 3.

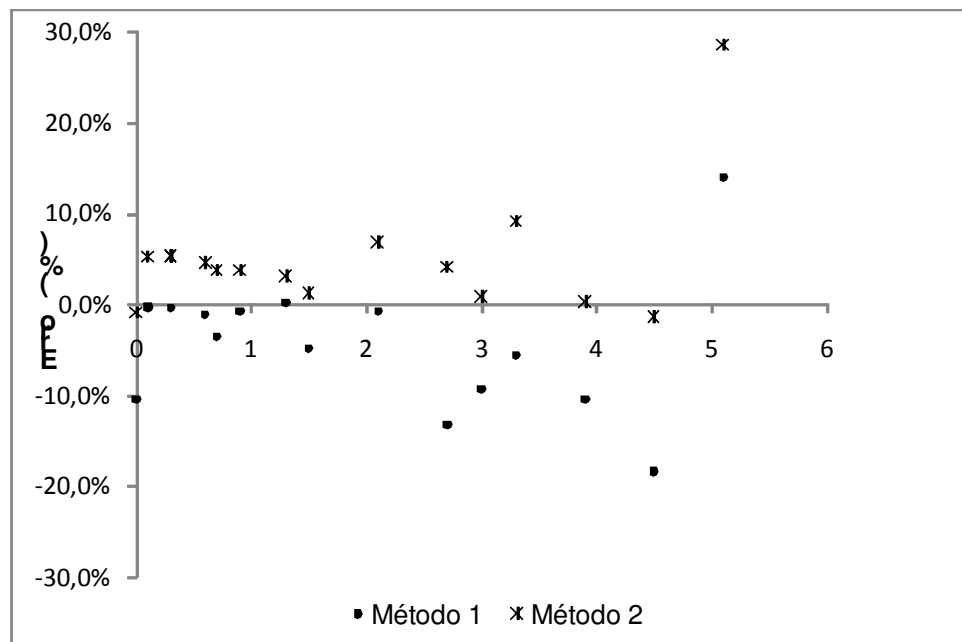


Figura 3: Distribuição de resíduos.

De acordo com a figura 3 os melhores resultados são encontrados na base do fuste a uma altura de aproximadamente 2,10 metros para o método 1, para o método 2 os melhores resultados encontram-se na faixa de 3 a 5 metros de altura. O comportamento da série de pontos pertencentes ao método 1 apresentou tendência a superestimar os valores dos diâmetros, enquanto o método 2 apresentou tendência a subestimar os diâmetros. A Tabela 2

apresenta os valores de dispersão dos resíduos obtidos para o conjunto de dados do processamento pelo método 1 e 2.

Tabela 2: Estatísticas dos resíduos para método 1 e 2

(cm)	Média	Desvio padrão	Máxima diferença	Mínima diferença
1	-0,83	1,23	-2,89	0,04
2	1,44	0,92	3,55	0,05

O método 1 apresentou em média erro de - 0,83 cm enquanto o método 2 apresentou 1,44 cm, o que comprova a tendência de superestimação dos diâmetros para o método 1 e subestimação para o método 2. A diferença máxima encontrada foi de -2,89cm para o método 1 e de 3,55cm para o método 2, valores encontrados a 4,5 e 5,1 metros de altura, respectivamente. Já a mínima diferença 0,04 para o método 1 e de 0,05cm para o método 2 foi observada a 1,3 e 3,9 metros, respectivamente.

Outros resultados interessantes foram apresentados por Bienert *et al.* (2006a), onde os diâmetros tiveram uma média de erro de 1,5 cm em relação às medições tradicionais. Thies e Spiecker (2004) relatam medidas do DAP com desvio de 1,3% em relação aos dados tradicionais quando aplicaram a metodologia proposta por Simonse *et al.* (2003).

Comparando medições de varredura simples com o laser em relação às medidas da suta Litkey *et al.* (2008) encontraram um erro médio quadrático de 3 cm. Usando outra metodologia erros médios em relação a suta variaram entre + 0,93 e -0,96cm (BIENERT *et al.*, 2006b).

Os resultados obtidos nas metodologias empregadas neste trabalho apresentaram-se condizentes com os outros trabalhos desenvolvidos na literatura. Embora as medidas de campo tenham sido adotadas como verdade absoluta, pode-se estar cometendo um erro ao se considerar a medida de circunferências com fita métrica para a validação do processamento de dados laser, já que o diâmetro obtido considera a fatia como um círculo, o que raramente ocorre na natureza.

O volume foi determinado por meio da cubagem rigorosa pelo método de Smalian. Os resultados (Figura 4) Indicam que o método 1 superestima o volume em 6% e o método 2 subestima o volume em 11% quando comparado com o volume calculado com os dados coletados em campo. A realização de uma validação para os dados de volume só seria possível utilizando o método de deslocamento de água. O volume calculado com os dados de campo esteve próximo a um valor médio entre os dois métodos.

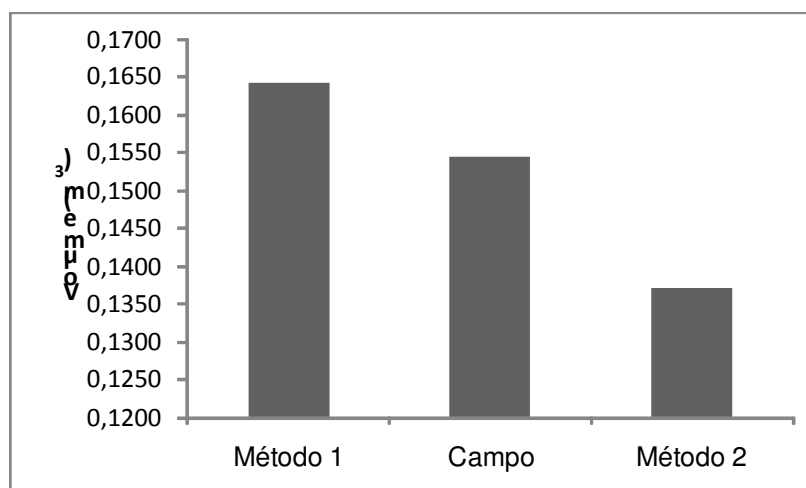


Figura 4: Volume calculado pelo método de Smalian.

4. Conclusões

A altura total da árvore foi subestimada e conforme relatado em outros artigos científicos tem sido uma tendência independente das espécies e equipamentos laser utilizados. Sendo assim estudos direcionados a esta problemática tornam-se necessários.

Dentre as metodologias empregadas pode-se concluir que o método 1 apresentou tendência a superestimação e o método 2 a subestimação de diâmetros. Cabe-se destacar o resultado encontrado para o diâmetro calculado pelo método 1, que apresentou um valor muito próximo ao de campo a altura de 1,3m, variável adotada para fins de manejo florestal (DAP).

Utilizando outras metodologias de processamento de dados laser é possível o cálculo direto de volumes com maior acurácia, porém a validação só poderia ser realizada com métodos de deslocamento de água.

Ao tratarmos de espécies amparadas por aspectos legais que impossibilitam seu abate para realização de estudos, verificado o potencial dos resultados encontrados no presente estudo, abrem possibilidade para o emprego da tecnologia laser.

Referências Bibliográficas

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, 2006a.

BIENERT, A., SCHELLER, S., KEANE, E., MULLOOLY, G. AND MOHAN, F. Application of terrestrial laser scanners for the determination of forest inventory parameters. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 36. 2006b.

HOPKINSON, L. et al. assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar. **Can. J. For. Res.**, v. 34, p. 573-583, 2004.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. S. **Araucária: A floresta do Brasil meridional**. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2002, 148 p.

LICHTI, D. D et al. Benchmark tests on a three-dimensional laser scanning system. **Geomat. Res. Aust**, v. 72, p. 1-23, 2000.

LICHTI, D. D et al. Ground-based laser scanners: operation, systems applications. **Geomatica**, v. 56, p. 21-33, 2002.

LINGNAU, C. ; SILVA, M. N., MACHADO, A. M. L. . Modelagem do fuste em povoamentos de Pinus spp. a partir da varredura laser terrestre. **Anais.. IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**, Curitiba, 2010.

LINGNAU,C. et al. Determinação de diâmetros em diferentes alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...Natal: INPE 2009**. p. 5031 – 5038.

MAAS, H.-G.; Bienert, A; Scheller, S. E.; Keane E. Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, no. 5, p. 1579–1593, 2008.

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.

WEZYK P. *et al.* Terrestrial laser scanning versus traditional forest inventory first results from the polish forests. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND

SPATIAL INFORMATION SCIENCES (ISPRS), 2007, Espoo. *Anais do Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007*, Espoo. Editado por P. Rönholm, H. Hyypä, J. Hyypä. 2007. p. 424 -429.

ZANON, M.L.B. Crescimento da *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze diferenciado por dioicia. 2007. 110 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

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

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