

Determinação de diâmetros em diferentes alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre

Christel Lingnau¹
Álvaro Muriel Lima Machado²
Airton Bavaresco Junior³
Flavia Luiza Colla³

¹ Universidade Federal do Paraná – UFPR, Departamento de Ciências Florestais
Rua Prof. Lothario Meissner, 900, Campus III, 80210-170 – Curitiba, Pr, Brasil
lingnau@ufpr.br

² Universidade Federal do Paraná – UFPR, Departamento de Geomática
Centro Politécnico – Jardim das Américas, 81.531-990 – Curitiba, Pr, Brasil
alvaroml@ufpr.br

³ Universidade Federal do Paraná – UFPR, Acadêmico (a) de Engenharia Florestal
Rua Prof. Lothario Meissner, 900, Campus III, 80210-170 – Curitiba, Pr, Brasil
{bavarescojr, flavinhacolla} @hotmail.com

Abstract. The objective of this study was to achieve automatic measures of diameters along the stem over an individual tree in a *Pinus taeda* stand data from terrestrial laser scanner. The pine stand is 30 years old, was thinned, and presents density of about 200 trees/ha. The methodology uses data acquired with Leica HDS3000 laser scanner on individual trees and collection of data in a traditional way by caliper and Haga hypsometer. For the survey, targets were installed on the field in order to merge clouds of points obtained in two sweeps from different positions, and the scan was performed with a density of one point at every 10 mm. The cloud of points (X, Y, Z) for a tree was processed by a program developed for this purpose in Delphi language. As a result we got diameters at every 10cm along the stem in a total height of 30.3m. The terrestrial laser scanner has a potential to optimize the detection of trees providing their rigorous cubage in a non-destructive way, as well as in monitoring the growth and yield of forest stand.

Palavras-chave: terrestrial laserscanning, point cloud, diameters along the stem, laser terrestre, nuvem de pontos, diâmetros ao longo do fuste.

1. Introdução

A tecnologia LIDAR (*Light Detection and Ranging*) tem apresentado potencial nas mais diversas áreas da engenharia e outras ciências afins, onde sua aplicação possui caráter inigualável se confrontada com as técnicas tradicionais de aquisição de informações. Nos levantamentos florestais a aquisição de dados em campo é limitada à altura da árvore, ao DAP (diâmetro a altura do peito) e a cubagem é inviável sem o corte da árvore (Bienert et al., 2006).

A tecnologia LIDAR que utiliza a energia LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) para obter dados tridimensionais acerca dos alvos, gera consequentemente informações com alta precisão sobre a geometria ao longo de todo o tronco da árvore, como por exemplo, a tortuosidade, fator de forma e danos que possam ocorrer no tronco (Maas et al., 2008).

Atualmente, há uma exigência crescente na obtenção de dados de alta precisão, rapidez na coleta e que possam ser reproduzidos de forma eficiente (Thies e Spiecker, 2004). Assim, a detecção automática de árvores individuais é o primeiro passo para extrair as variáveis dendrométricas. Algoritmos para a detecção automática segmentam a árvore em toretes, os quais são posteriormente unidos, formando assim o fuste (Aschoff e Spiecker, 2004; Pfeifer e Winterhalder, 2004). Além da tortuosidade do fuste que é obtida a partir do reconhecimento

de árvores individuais e que também indica a qualidade do mesmo, é possível avaliar a qualidade da madeira pela análise da superfície do fuste através da inserção e número de galhos (Schütt et al., 2004). Danos causados por pragas e doenças, os quais ocasionam a perda de folhas ou acículas, são difíceis de serem avaliados pelos métodos tradicionais. No entanto, Seifert e Seifert (2006) estimaram a biomassa de acículas em árvores em pé através do sensor laser. A vantagem deste método é que o laser além de permitir a estimativa da biomassa permite a obtenção de variáveis dendrométricas (diâmetros em diferentes alturas e altura total), através das quais já se podem estimar o volume de madeira.

Hopkinson et al. (2004) fizeram um estudo avaliando a medição de parâmetros florestais utilizando laser terrestre em comparação com medições de campo convencionais. Dentre as variáveis utilizadas para a comparação estavam DAP, altura total e volume total. Os resultados indicaram que há uma correspondência entre as estimativas convencionais e as do laser em relação ao DAP e altura total. Para o DAP não houve uma tendência sistemática nas estimativas do laser tanto para superestimativas quanto para subestimativas e, além disso, na comparação entre os dois métodos obteve-se um bom grau de correlação ($R^2=0,85$).

Thies e Spiecker (2004) realizaram um estudo sobre os processos de medição do laser scanner terrestre, onde foram comparados os resultados de DAP, altura da árvore e altura da base da copa com as medições convencionais de campo. A detecção do posicionamento da árvore apresentou alta acuracidade quando obtida pelo laser. O DAP foi obtido através do CAP (circunferência a altura do peito) medido convencionalmente e comparado com as medições do laser scanner terrestre, onde o desvio foi de 1,3%.

Dentro deste contexto, o presente estudo teve como objetivo a determinação automática da altura total e dos diâmetros ao longo do fuste em diferentes alturas.

2. Material e Métodos

2.1 Coleta de Dados

O objeto de estudo deste trabalho foi um povoamento de *Pinus taeda* com 30 anos e com 200 árv/ha localizado em uma área de terreno suave ondulado.

Para a realização do trabalho foram utilizados dados gerados a partir do equipamento laser terrestre Leica HDS3000 (Figura 1) e dados convencionais de medidas dendrométricas com a árvore em pé e cortada. Antes de cada varredura foi medida a altura total com hipsômetro de Haga, o DAP com Suta dendrométrica e CAP com fita métrica. Após a varredura as árvores foram cortadas e foi realizada uma cubagem rigorosa, onde a altura total foi medida com uma trena e os diâmetros com uma suta a cada 50 cm a partir do DAP com suta ($d_{0,1}$; $d_{0,5}$; $d_{0,9}$; $d_{1,3}$; $d_{1,8}$; $d_{2,3}$; $d_{2,8}$; $d_{3,3} + 0,5 \dots$). A cada 2 m foram extraídas secções transversais e fotografadas para fins de validação dos diâmetros.



Figura 1: Coleta dos dados com o equipamento laser HDS3000 no povoamento de pinus.

O equipamento de varredura a laser terrestre é robusto e projetado para ser usado em várias aplicações de campo. Suas dimensões são 265mm x 236mm x 215mm, e pesa 17kg. As principais características do equipamento estão apresentadas na Tabela 1. A intensidade do eco recebido, como reflexão de um ponto qualquer, também é registrada.

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

Performance	
Aquisição de pontos	Até 4000 pontos por segundo
Campo de visão	360° (horizontal) x 270° (vertical)
Acurácia posição / distância	6mm / 4mm (1 a 50m) - 1sigma
IFOV	60microrad x 60microrad - 1 sigma
Distância de varredura@reflectância	300m@90%; 134m@18%
Câmera digital integrada	1 Mpixel
Tipo	Pulso; microchip proprietário
Cor / Classe	Verde / 3R (IEC 60825-1)

A coleta de dados com o laser requer o planejamento e a realização de alguns procedimentos técnicos. Como são obtidas várias varreduras independentes em campo, é necessária a instalação de alvos para que posteriormente possa ser realizada a fusão da nuvem de pontos de todas as varreduras.

No trabalho em questão foi realizada a varredura em 11 árvores, das quais 10 de apenas um ângulo de visada e uma de dois ângulos de visada. Neste artigo será abordado o resultado apenas da árvore que foi realizada a varredura em dois ângulos de visada (Figura 2).

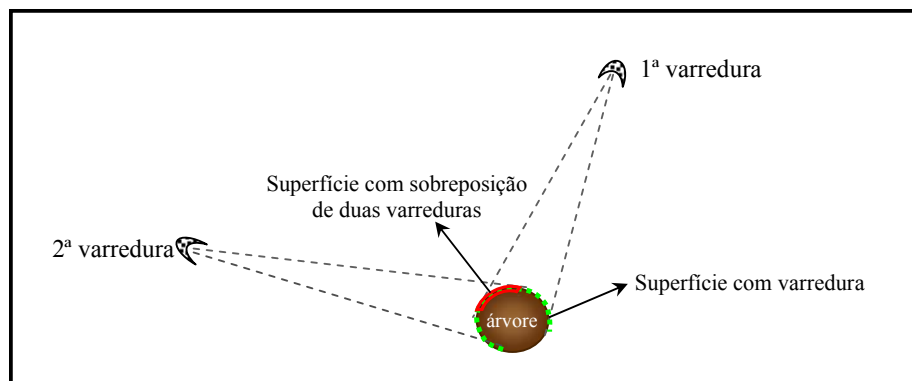


Figura 2: Esquema da varredura laser em campo.

2.2. Processamento dos dados laser

Para o processamento dos dados partiu-se de um arquivo formato texto (TXT), o qual foi convertido para um banco de dados Access, onde procedeu-se o isolamento de árvores através de ferramentas de seleção. Algumas rotinas para isolamento, filtragem de pontos do solo e da vegetação, e de obtenção da variável dendrométrica altura foram programadas utilizando linguagem Delphi.

2.2.1 Geração das alturas

Com a árvore completamente isolada foi definido o ponto de altura zero da árvore. A determinação desta altura está intimamente ligada aos processos de filtragem realizados anteriormente, ou seja, um método não eficiente de filtragem faz com que ocorram erros tanto na determinação da base da árvore quanto na determinação do topo da copa da árvore. Para encontrar o ponto zero da árvore, foi feita uma média dos pontos mais baixos encontrados. A

partir deste ponto foi possível determinar diferentes alturas parciais e conseqüentemente os seus respectivos diâmetros.

2.2.2 Geração de diâmetros

Todos os pontos provenientes da varredura da árvore selecionada foram separados segundo seções (10cm de altura cada seção) conforme sua coordenada Z. Dentro de cada seção, determinou-se X_{\min} , X_{\max} , Y_{\min} , Y_{\max} , correspondentes a mínimos e máximos de abcissas e ordenadas, respectivamente. Os dois pontos relativos à maior distância entre X_{\min} a X_{\max} , ou Y_{\min} a Y_{\max} foram tomados inicialmente como prováveis pontos pertencentes ao diâmetro da seção considerada. Denominando tais pontos de 1 e 2, o diâmetro seria a distância planimétrica (XY) do ponto 1 ao ponto 2. A seguir avaliou-se a distância de todos os pontos da seção analisada a estes dois pontos, substituindo um deles cada vez que se encontrasse distâncias maiores que a inicial (distância do ponto 1 ao ponto 2). Desta forma, obteve-se os diâmetros para cada seção analisada.

3. Resultados e discussões

3.1 Isolamento da árvore

Em função dos limites impostos para o isolamento serem exagerados, visando que nenhum ponto pertencente à árvore (principalmente sua copa) pudesse ser eliminado, muitos pontos do solo, da vegetação rasteira e galhos acabaram sendo englobados nessa nuvem de pontos isolados (Figura 3). Isto demonstra que processos de filtragem são extremamente necessários para a eliminação desses pontos.

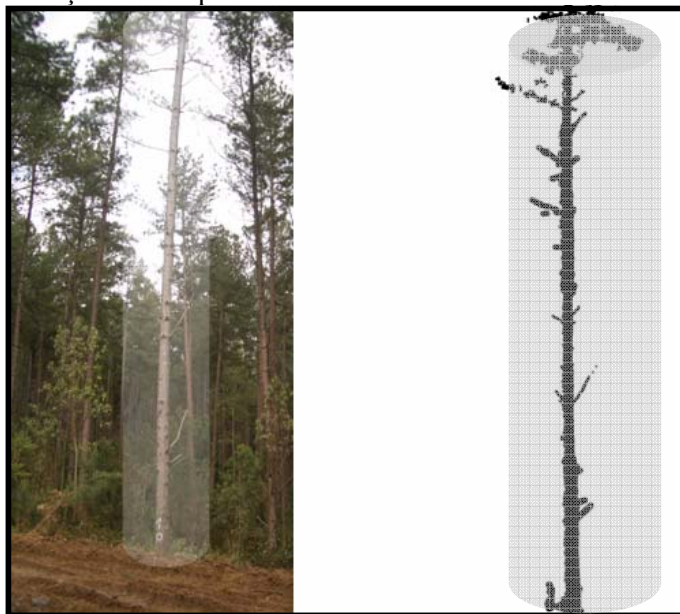


Figura 3: Árvore cubada em campo e à direita a nuvem de pontos obtida pela varredura da árvore isolada.

3.2 Obtenção da altura total

Na determinação da altura das árvores as metodologias são semelhantes. Alguns autores descrevem o processo com o uso de Modelo Digital do Terreno (MDT), o que torna fácil a obtenção da altura zero na base das árvores, enquanto outras não se utilizam deste artifício. Bienert et al. (2006) tratou a altura total da árvore como sendo a diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo da nuvem de pontos, sendo o mais baixo considerado como um ponto representante do MDT. Bienert et al. (2006) utilizaram o menor valor da coordenada Z a partir

de um cilindro de raio r_1 no entorno do centro de uma árvore (X, Y). O topo da árvore é definido como o maior valor de coordenada Z a partir do centro da árvore. O método utilizado neste estudo tomou como base um conjunto de pontos (coordenada Z com valores próximos aos mínimos observados) que serviram para o cálculo do ponto médio da coordenada Z, o qual foi considerado como ponto zero. No caso de uma comparação entre a metodologia utilizada neste trabalho e a de Bienert et al. (2006), sem dúvida a discrepância entre os valores seria ínfima, pois tratam-se de metodologias bastante semelhantes. A cota na base de uma árvore pode ser considerada igual.

Neste estudo a altura total determinada pelo laser foi de 30,3 m, 30,7 m medidos com o hipsômetro Haga e 30,3 m com a trena. A medida com trena foi realizada com a árvore cortada. Tendo em vista que se trata de árvores de reflorestamentos, a determinação da altura total é simples, sobretudo em povoamentos com a densidade de 200 árv./ha. As copas encontram-se na maioria das vezes isoladas, não confundindo assim com copas de árvores adjacentes.

3.3 Obtenção de diâmetros em diferentes alturas

Neste estudo piloto a árvore não passou por processos de filtragem para eliminar pontos que não fazem parte do tronco. Tendo em vista, que a maior parte das árvores em povoamentos não possui galhos na parte comercial do tronco, não se aplicou o filtro. No entanto, a Figura 4 mostra que neste caso particular o filtro é indispensável.

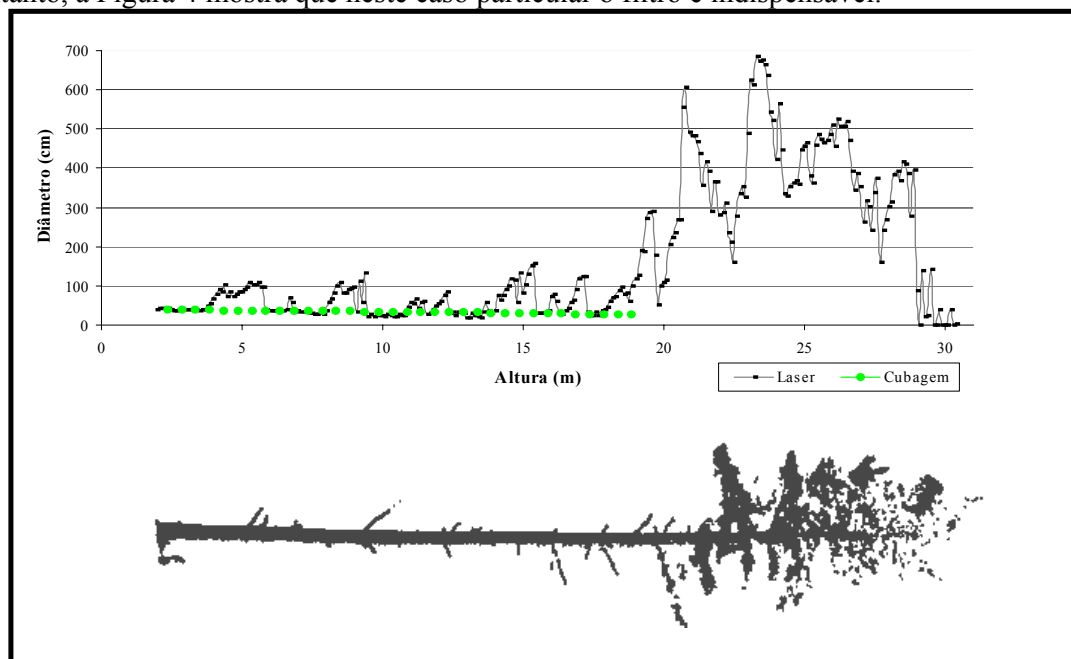


Figura 4: Comparação dos diâmetros estimados pelo laser e os diâmetros obtidos através de cubagem rigorosa em campo.

As porções do tronco onde há coincidência das medidas de diâmetros determinadas pelo laser e aquelas obtidas em campo através da cubagem indicam a ausência de galhos. Nas secções onde o laser superestimou o diâmetro há presença de galhos (Figura 5A e Tabela 2).

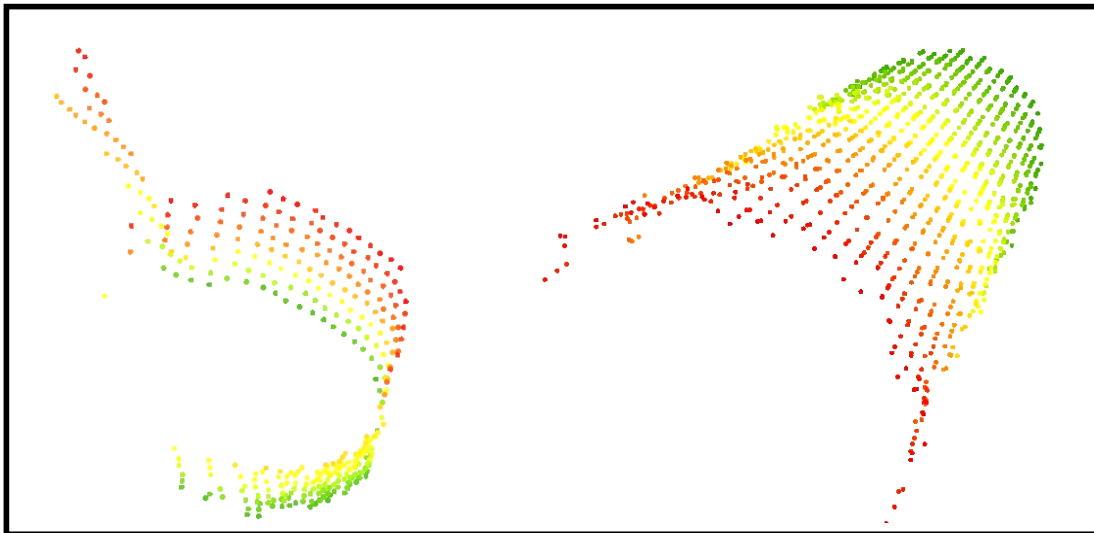


Figura 5: Detalhe de uma secção transversal em 3D entre 6,55 m e 6,85 m de altura com um pequeno galho e à direita secção transversal entre 9,45 m e 10,65 m de altura sem galhos.

Tabela 2: Valores de diâmetros medidos com o laser terrestre e em campo com a suta.

Altura parcial (m)	d_{laser} (cm)	d_{campo} (cm)
6.55	37.78	
6.65	69.45	
6.75	56.77	
6.85	31.90	
....	...	
7.05	32.74	
7.15	32.12	
7.25	32.02	
7.35	30.52	35.5
7.45	28.82	
7.55	26.21	
7.65	26.87	
7.75	29.83	
7.85	28.28	35.5
7.95	37.02	

Valores de diâmetros maiores do que os anteriores ou até aos posteriores indicam a presença de galhos no fuste, tal qual como é observado na altura parcial de 6,65 m e 6,75 m (Tabela 2). No entanto, também podem ocorrer medidas de diâmetros muito inferiores a aquelas obtidas através da cubagem rigorosa (Tabela 2 e Figura 5B).

A subestimativa de diâmetro pode ser devido a altura ou ainda porque a partir de 7 metros não foi realizada a varredura de dois ângulos de visada diferentes. Este detalhe pode ser observado na Figura 5b, onde apenas a metade do fuste é representada com a nuvem de pontos. A secção transversal na altura de 7,35 m teve o seu diâmetro estimado pelo laser de 30,5 cm e em campo através da medida com a suta 35,5 cm. Na figura 6 observa-se que a secção transversal não possui uma forma semelhante a um círculo e, portanto a estimativa do diâmetro neste caso pode ser sub ou superestimada. No entanto, obtendo a medida de diâmetro através da secção transversal fotografada ela pode variar entre 34 a 38 cm, ficando

ainda acima do que foi estimado pelo laser. Provavelmente a subestimativa deve-se à questão de que não há varredura de dois ângulos diferentes e a nuvem de pontos disponível é menor do que o menor diâmetro do fuste.

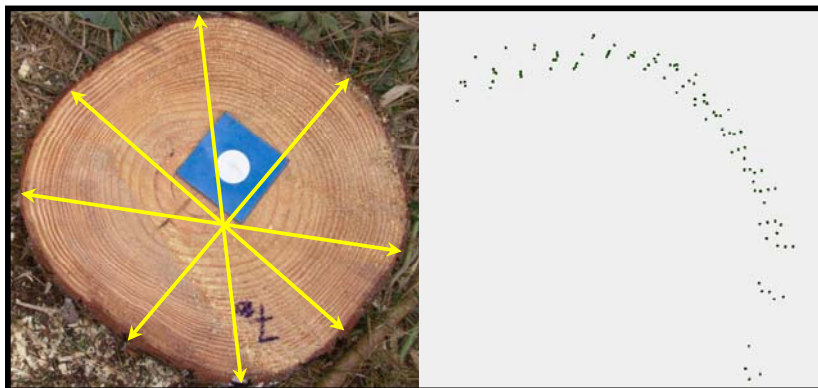


Figura 6: Secção transversal e a correspondente nuvem de pontos.

Conclusões

- A metodologia de coleta de dados ainda deve ser testada em povoamentos de pinus de diferentes idades e densidades.
- A determinação da altura total foi ótima, por se tratar de um povoamento onde as árvores são plantadas em linhas e por ter baixa densidade de indivíduos por hectare.
- A obtenção de diâmetros foi satisfatória. No entanto é indispensável a aplicação de um filtro para eliminar os ruídos ao longo do tronco.
- A determinação de diâmetros em diferentes alturas e com cilindros de 10 cm foi muito boa em porções do fuste sem galhos;
- Nas áreas com galhos a determinação do diâmetro foi superestimada, mostrando a necessidade de desenvolver um filtro para a determinação do volume comercial da árvore;
- Povoamentos de pinus na fase final da rotação possuem sub-bosque, o qual dificultará a tomada de dados com laser;

Um grande benefício dessa tecnologia é que ela torna possível a automatização de procedimentos de coleta, e processamento dos dados dendrométricos e, ainda, praticamente elimina possíveis erros humanos. Os métodos tradicionais para a obtenção destas variáveis são destrutivos (é necessário derrubar e cubar a árvore) e dependem de muito trabalho manual em campo. Uma vez obtidos os dados laser, eles também podem ser utilizados para outras aplicações como, por exemplo, na silvicultura em simulações de podas e desbastes.

Agradecimentos

A Battistella Florestal pelo apoio neste projeto piloto na coleta de dados e ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná por disponibilizar o equipamento laser terrestre Leica HDS3000.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aschoff, T e Spiecker, H. Algorithms for the automatic detection of trees. In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS), 'Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment', 2004, Freiburg, Germany. **Anais...** Freiburg: ISPRS, 2004. Artigos, p. 71-75. On-line. ISBN 1682-1750. Disponível em <http://www.isprs.org/commission8/workshop_laser_forest/>. Acesso em: 07 jul 2005.

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,

2006, Vienna. **Anais...** Vienna: University of Natural Resources and Applied Life Sciences, 2006. Artigos, p. 14-15. On-line. Disponível em: <www.tu-dresden.de/ipf/photo/publikationen/2006/Bienert_Maas_Scheller_ForestryVienna2006.pdf>. Acesso em 14 nov. 2008.

Henning, J.; Radtke, P. Detailed Stem Measurements of Standing Trees from Ground-Based Scanning Lidar. **Forest Science**, v. 52 (1), p. 67-80, 2006.

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

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, n^o. 5, p. 1579-1593, 2008.

Pfeifer, N.; Winterhalder, D. Modelling of tree cross sections from terrestrial laser-scanning data with free-form curves. In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS), 'Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment', 2004, Freiburg, Germany. **Anais...** Freiburg: ISPRS, 2004. Artigos, p. 76-81. On-line. ISBN 1682-1750. Disponível em <http://www.isprs.org/commission8/workshop_laser_forest/>. Acesso em: 07 jul 2005.

Seifert, S.; Seifert, T. Bodengestütztes Laserscanning zur Erfassung der Nadelbiomasse bei Fichte. In: Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - DVFFA – Sektion Ertragskunde, 2006, Staufen, Germany. **Anais...** Staufen: DVFFA, 2006. Artigos, p. 86 – 97. On-line. ISSN 1432-2609. Disponível em www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/SeifertS_SeifertT_2006_. Acesso em 03 mai 2007.

Schütt, C.; Aschoff, T.; Winterhalder, D.; Thies, M.; Kretschmer, U; Spiecker, H. Approaches for recognition of wood quality of standing trees based on terrestrial laserscanner data. In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS), 'Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment', 2004, Freiburg, Germany. **Anais...** Freiburg: ISPRS, 2004. Artigos, p. 179-182. On-line. ISBN 1682-1750. Disponível em <http://www.isprs.org/commission8/workshop_laser_forest/>. Acesso em: 07 jul 2005.

Thies, M.; Spiecker, H. Evaluation and future prospects of terrestrial laser scanning for standardized forest inventories. In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS), 'Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment', 2004, Freiburg, Germany. **Anais...** Freiburg: ISPRS, 2004. Artigos, p. 192-197. On-line. ISBN 1682-1750. Disponível em <http://www.isprs.org/commission8/workshop_laser_forest/>. Acesso em: 07 jul 2005.