

DETERMINAÇÃO DA PRECISÃO DE DADOS LiDAR ANALISADOS COM FUSION PARA MEDIÇÃO DE ALTURAS EM PLANTIOS FLORESTAIS

Caciane Peinhopf¹, Afonso Figueiredo Filho², Dennis Bernardi³, João Roberto dos Santos⁴

^{1,2} Universidade Estadual do Centro-Oeste –UNICENTRO, PR-153, KM 7, Bairro: Riozinho, 84500-000 - Irati, PR, Brasil, e-mail: cacianepinhopf@hotmail.com, afigfilho@gmail.com

³ Fibria S.A.- Jacareí, SP, Brasil, dennis.bernardi@fibria.com.br

⁴ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil, jroberto@dsr.inpe.br

RESUMO

O presente artigo apresenta análises feitas a partir de tecnologia LiDAR com 5 e 10 pontos/m² para medição de alturas de indivíduos arbóreos em povoamentos de *Eucalyptus urograndis* com idades diferentes, a fim de definir as diferenças em cada idade, comparando com o inventário convencional que ocorreu no mesmo período nas parcelas selecionadas. Os dados do LiDAR das fazendas no Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, foram obtidos simultaneamente com a obtenção da altura no inventário convencional. Processando no software livre Fusion/LDV e comparando diretamente com os parâmetros do inventário, foi possível constatar que o Lidar para os dois métodos mostrou-se eficiente para coleta de alturas das árvores, principalmente das primeiras idades do plantio, sendo uma alternativa futura a ser aprimorada e auxiliar na coleta de dados de campo de inventários convencionais.

Palavras-chave: Fotointerpretação, GPS, Laser Scanner Aerotransportado, Sistemas de Informações Geográficas.

ABSTRACT

This article presents analyzes from LiDAR technology with 5 and 10 points / m² for measuring individuals arboreal height of diverse *Eucalyptus urograndis* forests of different ages in order to define the differences in each age comparing with conventional inventory that occurred the same period in the selected portions . LiDAR data from the farms in the Paraíba Valley, State of São Paulo, were obtained simultaneously with the height measurement in the conventional inventory. Processing at the Free Software Fusion / LDV and compared directly with the inventory parameters, it was possible to show the Lidar for both methods proved to be efficient for collecting heights of trees, especially of the first ages of planting, being an alternative future to be improved and auxiliary in the field data collection from conventional inventories.

Keywords: Photointerpretation, GPS, Airborne Laser Scanner, Geographic Information Systems.

INTRODUÇÃO

A introdução do LiDAR (*Light Detection and Ranging*) a partir do Sistema de Perfilamento a Laser (ALS-*Airborne LASER Scanning*) na área florestal impulsionou pesquisas em empresas relacionadas a atualização de mapas de elevação de terreno, cobertura vegetal e ainda elevação de objetos presentes no terreno. As informações obtidas do Laser para o processamento de dados da floresta vem ganhando em confiabilidade e melhorando os investimentos para aumento da eficiência do processamento para utilização em inventários florestais, garantindo uma coleta de dados, de modo que seja útil à tomada de decisão.

Para garantir a precisão e exata localização das nuvens de pontos Lidar é utilizado como forma de orientar o sensor, são elementos essenciais o GPS (*Global Positioning System*) e IMU (*Inercial Measurement Unit*). O GPS que registra a exata localização da aeronave conta com dois receptores, estando um no solo e outro a bordo da aeronave que registra a posição da antena Lidar durante a aquisição dos pontos. O IMU que estabelece a orientação, posição e velocidade da antena Lidar, garantindo uma boa exatidão, sendo indispensável, para isso um sistema compacto e leve.

O sistema LiDAR emite pulsos Laser que retornam ao receptor assim que encontram um objeto ou a superfície do solo. Em maciços florestais, onde as superfícies são irregulares, um mesmo pulso tem a capacidade de retornar ao sistema quando encontra a copa da árvore, porém continua penetrando até encontrar galhos ou o solo, isso faz com que produza informações de múltiplos retornos, utilizadas para auxiliar na identificação do perfil da copa. Quando um pulso retorna ao sensor, o mesmo é medido pelo sistema e gera uma informação de tempo entre emissão e retorno, criando assim um perfil diferenciado, entre os pontos de copa e de solo.

O Laser associado a fotografias aéreas aumenta a versatilidade do sistema auxiliando no pós processamento, principalmente na classificação, identificação da área além da sua medição. Sendo o Laser uma tecnologia recente, ainda não conta com uma técnica consolidada para processamento, utilizando neste caso, de técnicas mais antigas utilizadas pela fotogrametria. A associação do Lidar com a Fotogrametria tem um grande potencial de agregação de valor, onde as técnicas isoladas não atingiriam o mesmo resultado.

Quando é definido o objetivo de um inventário florestal, define-se as variáveis que serão medidas na parcela em campo. A altura ainda é indispensável para determinar a capacidade produtiva do sítio florestal quando relacionado com a idade da floresta.

O objetivo deste trabalho foi comparar a altura média de parcelas instaladas em povoamentos florestais de diferentes idades, com a altura média medida a partir de pontos de laser de 5 e 10 pontos/m².

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

Esta pesquisa assim como os dados, foram disponibilizados pela empresa Fibria Celulose S.A., unidade de Jacareí no estado de São Paulo. As fazendas foram selecionadas em função da sua idade para que houvessem dados de diferentes alturas para serem comparados. Os municípios que contemplam as fazendas são Jacareí, Paraibuna, Jambuí, São Luís do Paraitinga e Naturidade da Serra, todos localizados no Vale do Paraíba.

A área de efetivo plantio é de 520,38 ha de *Eucalyptus urograndis* distribuídas em 53 parcelas circulares temporárias com área de 400 m² cada parcela.

A área está classificada como clima tropical e a temperatura média mensal é de 25 °C, com mínima no mês de julho de 16 °C e máxima no mês de dezembro com temperatura de 29 °C.

A precipitação média anual no Vale do Paraíba é de 1.489 mm influenciada pela presença das serras do Mar e da Mantiqueira. O período de chuvas se concentra entre os meses de setembro e fevereiro.

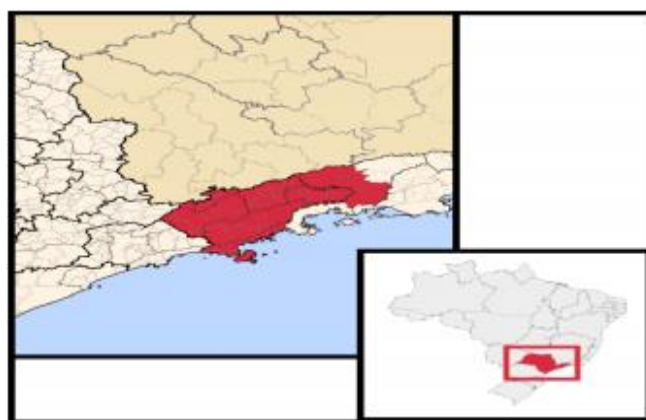


Figura 1. Mapa da distribuição das áreas de localização das parcelas.

Figure 1. Map of the distribution of areas for the location of the portions.

Dados no campo

Os dados de campo foram coletados em parcelas temporárias, nas quais foram medidas todas as alturas das árvores pelo método convencional de medição em inventário de campo, para comparar com os dados obtidos a partir do LiDAR. A coleta de altura de campo e o voo a laser ocorreram no mesmo período do ano.

O procedimento convencional utilizado pela empresa para a medição iniciou após a localização das parcelas no campo, foi obtido o ponto central da mesma, com receptor GPS PRO XRT, acoplado a um mastro estendível de 8 metros, apoiado a um tripé. Após estender o mastro para melhorar o recebimento de sinal de satélites, o mesmo permaneceu estendido por 5 minutos. As coordenadas encontradas no ponto foram posteriormente processadas com o Software Topcon Tools (Processamento de DGPS L1L2).

A medição das alturas foi feita em julho de 2012, medindo a altura com Hipsômetro Haglof HEC que inicia o procedimento com a identificação da base da árvore e o topo da mesma. A altura das árvores de toda a parcela foi medida. Os operadores que realizaram a atividade são experientes com relação a utilização dos instrumentos para garantir a qualidade das medições e minimizar os erros de não amostragem.

Dados do voo

Os dados de laser foram coletados por uma aeronave sobrevoando a área a uma altura de 2000 metros com direções alternadas utilizando o sistema Lidar Harrier. As faixas variam de 350 a 726 metros e frequência de operação de 300 khz e 400khz, para os dados de Laser de 5 e 10 pontos/m², respectivamente, com sobreposição lateral de 30% para as duas densidades de pontos pré definidas. Para garantir a cobertura de toda a área correspondente a pesquisa, foi sobrevoado um Buffer de 500 metros em torno dos limites do imóvel.

Os dados brutos gerados para 5 e 10 pontos/m² foram separados em:

- pontos no solo (DTM- Modelo Digital de Terreno);
- pontos na superfície (DSM- Modelo Digital de Superfície); e
- Nuvens de Pontos (NP- Todos os pontos no formato “.las”).

Simultaneamente a coleta de dados com o voo LiDAR foram obtidas fotografias aéreas ortoretificadas com 15 cm, normal e colorida para auxiliar na interpretação de objetos presentes na área, assim como a copa das árvores em duas dimensões.

Análise dos dados

Cada parcela foi individualizada na imagem aérea para facilitar o processamento dos dados e identificação das parcelas separadamente. Este processo foi realizado com o recorte da imagem no Software ArcGIS 9.3.

Os dados do Lidar foram analisados no software livre Fusion/LDV, carregada a nuvem de pontos (NP) de Laser correspondente a parcela, sobre a imagem e o Modelo Digital do Terreno (MDT). Para visualização apenas da parcela, a mesma foi selecionada e em seguida automaticamente carregada no aplicativo LDV, para a mensuração das alturas das árvores. Cada árvore foi inserida em um cilindro gerado pelo programa, identificando a altura dos pulsos de primeiro e último retorno, e o MDT para que possa eliminar na parcela a declividade do terreno a fim de minimizar erros de interpretação da superfície do solo/base da árvore. Os pulsos intermediários também são carregados e auxiliam na individualização das copas das árvores.

A identificação de cada árvore no LDV gera um arquivo que é carregado no Microsoft Office Excel, onde os indivíduos arbóreos recebem uma identificação numérica, além das coordenadas geográfica e altura total que corresponde a diferença de altura entre o primeiro e último ponto.

Obtidas as alturas das parcelas foi calculada a média da mesma para cada método, sendo eles o método convencional (real) e LiDAR 5 e 10 pontos/m². As médias para cada parcela foi comparada nas idades de 3, 4, 5, 6, 7 e 8 anos.

Uma vez obtidas a média das alturas por parcela pelos três métodos propostos foi aplicado testes de comparação de médias de Dunnett ($\alpha \leq 0,05$). Foi calculado para cada idade o Resíduo Médio Quadrático (%), Desvio Padrão e Coeficiente de Variação (CV%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias das alturas obtidas entre os dados de campo, medidos com hipsômetro e as médias geradas com dados LiDAR 5 e 10 pontos/m² são apresentados na Tabela 1 com o erro médio encontrado para cada idade e o coeficiente de variação (CV%). As médias comparadas com o teste de Dunnett é representado pela letra que acompanha a média das alturas de cada idade.

Os parâmetros com idades 3, 4 e 7 anos apresentaram médias estatisticamente iguais pelos métodos testados. As idades de 5 e 8 anos apresentaram médias diferentes do obtido convencionalmente, porém com erro inferior a 15%.

Tabela 1. Médias de posição e dispersão para os três métodos de obtenção de alturas.

Table 1. Averages of position and dispersion for the three methods of obtaining Heights.

Idade (anos)	Parcela	Média da altura (m)			RQEM%		
		Real	LiDAR 5 Pontos	LiDAR 10 pontos	5 Pontos	10 pontos	CV%
3 anos	103	16,41	14,64	15,60			
	100	18,25	17,46	18,35			
	105	16,63	16,36	17,39			
	107	16,31	14,97	16,34			
	108	17,19	16,38	17,71			
	113	19,29	18,52	19,81			
	111	16,43	16,51	17,65			
Média		17,21 a	16,40 a	17,55 a	5,76	3,97	7,52
4 anos	79	20,61	21,49	22,04			
	81	18,91	21,08	21,28			
	83	20,88	21,88	22,35			
	89	21,89	23,06	23,88			
	82	21,07	22,33	22,40			
	84	21,43	23,67	24,11			
	85	20,89	22,03	22,5			
	86	21,35	21,87	22,34			
	87	22,17	24,33	24,29			
	88	17,92	19,61	19,69			
Média		20,71 a	22,13 a	22,40 a	7,40	8,89	6,20
5 anos	53	22,55	24,46	24,52			
	54	25,75	27,12	27,31			
	55	24,11	28,25	28,40			
	57	21,2	24,73	25,26			
	58	25,39	26,25	27,05			
	60	25,39	24,22	25,89			
	61	22,60	25,00	24,96			
Média		23,95 a	25,85 b	26,28 b	10,37	10,42	5,88
	75	24,63	26,78	26,86			

6 anos	76	23,3	26,73	26,67
	77	22,28	26,36	24,25
	78	20,18	21,98	21,64
	70	22,14	22,38	22,53
	71	22,51	24,86	24,78
	72	23,55	24,63	24,52

O desvio padrão e coeficiente de variação dos métodos alternativos são maiores para valores de referência (Tabela 2) o que pode ser explicado pelo método convencional ter maior abrangência de variação de altura, sendo as árvores menores suprimidas nos métodos alternativos.

Tabela 2. Coeficiente de variação e Desvio Padrão para as diferentes idades.

Table 2. Coefficient of variation and standard deviation for different ages.

Idade		Real	LiDAR 5 Pontos	LiDAR 10 Pontos
3 anos	Desvio Padrão	2,35	1,51	1,51
	CV%	5,55	2,27	2,26
4 anos	Desvio Padrão	2,41	1,64	1,49
	CV%	5,84	2,72	2,24
5 anos	Desvio Padrão	3,01	1,51	1,78
	CV%	9,08	2,29	3,17
6 anos	Desvio Padrão	2,94	2,01	2,06
	CV%	8,69	4,05	4,26
7 anos	Desvio Padrão	4,10	1,65	1,71
	CV%	16,85	2,75	2,94
8 anos	Desvio Padrão	4,22	2,94	2,90
	CV%	17,80	8,68	8,41

CONCLUSÕES

A medição da altura se torna mais difícil na tecnologia LiDAR com o aumento da idade do *Eucalyptus* spp., porque as copas nas idades jovens têm um formato de cone, alterando-se para uma forma mais achatada.

Os resultados obtidos na pesquisa mostram que os erros de medição de altura ficam entre 3,97% e 12,77% e estes erros são aceitáveis para uma variável de difícil obtenção em campo, como no caso da altura, considerando a coleta de dados de árvore em pé. O erro aumentou com o aumento da idade.

REFERENCIAS

- BALTSAVIAS, E.P. 1999 - A comparison between Photogrammetry and LASER scanning - ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, pp. 83-94.
- BRANDALIZE, A.A. Perfilamento a LASER: comparação com métodos Fotogramétricos. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Porto Alegre, 2001.
- GARCIA, C.H. - Tabelas para classificação do coeficiente de variação. Circular Técnica IPEF, Piracicaba (171): 1-11, nov. 1989.
- GIONDO, M. *et al.* LIDAR: princípios e aplicações florestais. Pesquisas Florestais Brasileira, Colombo, v. 30, n. 63, p. 231-244, 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.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Dendrometria. 2.ed. Guarapuava: Ed. UNICENTRO, 2006. 316 p.

WACK, R.; SCHARDT, M.; BARRUCHO, L.; LOHR, U.; OLIVEIRA, T. Forest inventory for Eucalyptus plantations based on airborne laser scanner data. In: Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Symposium, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 34, n. 3/W13, The Netherlands, p. 40-46, 2003.

PRADAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. Mensura Forestal. Instituto Interamericano de cooperacion para la agricultura (iica). Costa Rica, 1997. 586 p.