

Mensuração de alturas de árvores individuais a partir de dados *laser* terrestre

Individual tree height mensuration with laser terrestrial data

Christel Lingnau¹

Matheus Nunes Silva²

Danilo Sidnei dos Santos³

Álvaro Machado⁴

José Gaspar dos Santos Lima⁵

Resumo

O presente estudo tem como principal objetivo a obtenção de variáveis dendrométricas de árvores em um povoamento de *Pinus sp a* a partir de dados *laser scanner* terrestre. O povoamento de pinus possui quarenta anos de idade, já sofreu desbastes, e apresenta uma densidade de cerca de 890 arv./ha. A metodologia iniciou-se com a coleta de dados de forma tradicional e com o equipamento ILRIS-3D (OPTECH). Com o auxílio de GPS geodésico e estação total determinou-se coordenadas de alvos na floresta que serviram de base para georreferenciamento do scanner. A varredura foi realizada em um giro de 360 graus com resoluções de 10 mm e 50 mm a 50 metros em dois pontos distintos do povoamento. Os dados da varredura foram processados com o intuito de isolar e filtrar uma árvore. Como resultado, chegou-se a um bom isolamento de árvores e filtragem de pontos, obteve-se ainda a altura total de 31,93 metros e alturas parciais em intervalos de 1 metro relativas a uma árvore do povoamento. A tecnologia *laser scanner* terrestre apresenta potencial

1 UFPR, Departamento de Ciências Florestais, Rua Prof. Lothario Meissner, 900, Campus III, 80210-170 – Curitiba, Pr, Brasil; e-mail: lingnau@ufpr.br

2 Curso de Graduação em Engenharia Florestal da UFPR, Rua Prof. Lothario Meissner, 900, Campus III, 80210-170 – Curitiba, Pr, Brasil; e-mail: matheus_hc@hotmail.com

3 MANFRA – Equipamentos Topográficos, Rua Mariano Torres, 332, 80.060-120 – Curitiba, Pr, Brasil; e-mail: danilo@manfra.com.br

4 UFPR, Departamento de Geomática, Centro Politécnico - Jardim das Américas, Caixa Postal 19001, 81531-990 - Curitiba PR – Brasil; e-mail: alvaroml@ufpr.br

5 MANFRA – Equipamentos Topográficos, Rua Mariano Torres, 332, 80.060-120 – Curitiba, Pr, Brasil; e-mail: gaspar@manfra.com.br

promissor para área florestal abrangendo a aplicação em inventários florestais, planejamento de manejo, produção e colheita florestal.

Palavras-chave: ILRIS-3D; *laser scanner* terrestre; detecção de árvores isoladas; altura total.

Abstract

This study has as its main objective the obtaining of dendrometric variables of trees in a stand of *Pinus sp* data from terrestrial laser scanner. The stand of pine is 40 years of age, has suffered thinning, and has a density of about 890 arv./ha. The methodology began with the collect of data from traditional form and with the ILRIS-3D equipment (OPTECH). With the help of a geodesic GPS and a total station, it was determined coordinates of targets in the forest that formed the basis for georeferencing the scanner data. The scan was performed on a spin of 360 degrees with resolutions of 10mm and 50mm at 50 meters, at two different points of acquisition. The scanned data were processed in order to isolate and filter a tree. As a result, it was got to a good filtering and isolation of a tree on the stand with a total height of 31.93 meters and partial heights in intervals of 1 meter. The laser scanner technology shows a promising potential for forest area covering applications in forest inventories, planning, management, production and harvest forest.

Key words: ILRIS-3D; terrestrial laser scanning; single tree detection; height of individual tree.

Introdução

A obtenção de variáveis dendrométricas é realizada em campo através de amostragens, as quais demandam tempo e uma equipe treinada para tais medições. As medições referentes às alturas das árvores são realizadas em apenas algumas árvores, por se tratar de uma obtenção muito difícil em campo. Muitas vezes, o ápice da copa e a base da árvore não podem ser visualizados com nitidez ou certeza, podendo haver erros nas medições, causando super ou

subestimativas. Na medição de diâmetros, erros na calibração de sutas ou fitas métricas, e erros aleatórios causados tanto na coleta quanto na anotação e transcrição de fichas de campo, são comuns e causados essencialmente por falhas humanas. Desta forma, o desenvolvimento de novos métodos, buscando-se uma automatização da obtenção das variáveis dendrométricas, visando uma menor demanda de tempo, mantendo uma boa precisão e eliminando os possíveis erros causados pelo homem, são de grande interesse na área florestal.

O equipamento *laser scanner* terrestre amplamente utilizado na mineração, construção civil e arquitetura, recentemente começou a ser aplicado na área florestal. Esta tecnologia permite a coleta de dados de forma indireta, ou seja, sem contato direto com as árvores, possibilitando de forma eficiente a coleta de dados de difícil acesso como diâmetros a diversas alturas e alturas parciais, tornando possível a cubagem de árvores sem a necessidade do corte. O sistema *laser* terrestre traz como vantagem a rapidez na obtenção de uma grande quantidade de pontos, a partir dos quais serão derivadas as variáveis dendrométricas mais complexas, como diâmetros ao longo do fuste. Nos métodos convencionais, a obtenção de tais variáveis torna-se praticamente inviável sem o corte da árvore (BIENERT et al. 2006). Em função dos pontos serem georreferenciados (x, y, z), tem-se todo o ambiente da floresta em 3D, possibilitando que cada árvore seja atrelada a um banco de dados cadastral.

Com os avanços nos sistemas *laser scanner* terrestre (LICHTI et al. 2002) o potencial do uso desta tecnologia para a mensuração florestal é evidente, sendo que, ainda há muito que se realizar. 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 ($R^2=0,85$).

Bienert et al. (2006) realizaram uma análise das informações contidas na nuvem de pontos do *laser scanner* terrestre visando fazer uma determinação automática de parâmetros florestais e ressaltaram a importância de se buscar novos métodos para a obtenção de variáveis dendrométricas. A metodologia apresentada para a detecção de árvores obteve ótimos resultados, onde 95% das árvores testadas foram identificadas de forma correta. 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, apresentando bons resultados, sendo que, no melhor caso, o desvio foi de 1,3%.

Dentro deste contexto, o presente estudo tem enfoque na coleta dos dados em campo, desde o processamento desses dados brutos (identificação de árvores, filtragem classificatória de pontos) até a geração de alturas: total e parciais de árvores.

Coleta de Dados

O objeto de estudo deste trabalho é um plantio de *Pinus sp.* localizado na Fazenda Experimental do Canguiri,

município de Pinhais, PR. O povoamento de 40 anos já sofreu desbastes e possui uma densidade em torno de 890 arv./ha.

Para a realização do trabalho foram utilizados dados gerados a partir do equipamento *laser* terrestre ILRIS 3-D (Figura 1) e dados convencionais de

A coleta de dados com o *laser* requer o planejamento e a realização de alguns procedimentos técnicos. Como a nuvem de pontos deve ser georreferenciada, foi preciso determinar pontos com coordenadas conhecidas dentro do talhão de pinus. Os marcos instalados fora do

Figura 1. Equipamento *Laser* Terrestre ILRIS 3-D (Fonte: <www.manfra.com.br>)



medidas dendrométricas (DAP, CAP e Altura total) em campo. O equipamento *laser* terrestre é robusto e projetado para ser usado em várias aplicações de campo. Não necessita de nivelamento e é compacto, fácil de usar e carregar. Como acessório possui uma câmera fotográfica digital com uma resolução de 6.6 Mpixels embutida e coletor Pocket PC WindowCE. As propriedades do equipamento estão apresentadas na tabela 1.

plantio serviram de base para a coleta de coordenadas precisas com GPS geodésico (Figura 2a). Estas coordenadas foram transportadas com auxílio de uma estação total para o centro das amostras no talhão. Para cada varredura *laser* foram instalados alvos (Figura 2b) com coordenadas conhecidas, e a partir desses alvos, que são escaneados, torna-se possível georreferenciar cada ponto determinado pelo *laser*. Com a estrutura de base

Tabela 1. Características do equipamento ILRIS-3D (Fonte: Optech)

Performance	
Alcance de medição	3 m - 1,500 m to an 80% target 3 m - 800 m to an 20% target 3 m - 350 m to an 4% target
Amostragem de pontos	2,500 points per second
Minimum spot step (X and Y axis)	0.00115°
Precisão da medição da distância	7 mm a 100 m
Precisão posicional	8 mm a 100 m
Comprimento de onda do laser	1,500 nm
Câmera Digital	Câmera digital integrada (CMOS sensor)
Campo de Visada (ILRIS-3D)	40° x 40°
<i>Laser</i> Invisível Classe 1	Seguro aos olhos

Figura 2. Procedimentos técnicos para a varredura *laser* em campo. a) GPS geodésico e marco instalado; b) alvo que será escaneado pelo *laser*; c) equipamento *laser* ILRIS 3D realizando uma varredura.

montada (Figura 2c), foram escolhidos dois pontos de posicionamento do *laser*, e em cada um deles realizou-se um giro de 360 graus com resoluções de 10 mm e 50 mm a 50 metros.

A coleta convencional de dados dendrométricos foi realizada em apenas algumas árvores selecionadas previamente para fins de validação dos dados *laser*. Antes de cada varredura foram escolhidas árvores que fossem facilmente observadas pelo *laser* para a medição do DAP com Suta dendrométrica e CAP com uso de fita métrica. Ainda de algumas árvores mediu-se a altura total com hipsômetro de Blume-leiss. As árvores selecionadas foram marcadas com números e com uma faixa fixada na altura de 1,30 metros. Esse procedimento foi realizado para facilitar a identificação das árvores nas fotografias digitais, as quais são obtidas antes da varredura.

Processamento dos Dados *Laser*

A empresa Manfra Equipamentos Topográficos, parceira da UFPR no projeto e fornecedora do equipamento, realizou o pré-processamento dos dados brutos, georreferenciando cada ponto obtido pela varredura *laser*. Com o uso da versão de visualização do *software* Polyworks/IMInspect foi possível visualizar os dados brutos em 3D, o que possibilitou um entendimento maior do tipo de dado em questão.

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.

Isolamento de árvores

O processo de isolamento de árvores é um processo difícil quando se trata de dados *laser*, afinal são pontos e não superfícies e, portanto determinar se estes pontos pertencem ou não às árvores é algo bastante complexo. Para detecção automática de árvores alguns autores utilizam algoritmos que buscam encontrar nos dados formas que tendem a formar círculos, ou seja, reconhecendo de forma automática se o ponto faz parte do fuste de uma árvore ou não.

No presente estudo este isolamento não foi realizado de forma automatizada. Visualmente tomou-se um ponto base em uma árvore e com os dados de sua coordenada gerou-se um raio limite do valor de cinco metros. A opção por utilizar este valor se deu devido ao espaçamento do plantio (2 x 2 m). Devido à densidade do povoamento não ser muito alta, pois sofreu alguns desbastes, a grande maioria dos isolamentos não deverá conter árvores vizinhas no raio de dois metros.

Filtragem de pontos não pertencentes à árvore

Na nuvem de pontos gerada pelo *laser scanner* há um grande número de pontos que não pertencem às árvores, são pontos da vegetação de sub-bosque ou de qualquer objeto (insetos, pássaros, entre outros) que possam refletir o feixe de *laser*. Esses pontos devem ser eliminados, pois influenciam diretamente de forma

negativa nos resultados referentes às variáveis dendrométricas de interesse.

A retirada desses pontos pode ser feita de forma totalmente manual, semi-automatizada ou completamente automatizada. Diferentemente de fotos digitais, em que é possível filtrar de acordo com o nível de cinza. Os pontos gerados pelo *laser*, embora possuam valores de RGB, não permitem diferenciar objetos. Portanto os métodos utilizados para a filtragem dos pontos abordam aspectos referentes às coordenadas X, Y e Z.

Pontos pertencentes às árvores apresentam de certa forma, um padrão diferenciado em relação aos pontos de vegetação do sub-bosque. Alguns pesquisadores utilizam em seus algoritmos aspectos como a distância média entre pontos próximos e eliminam pontos que possuam uma distância maior que a pré-estabelecida. Pode-se combinar isso também com um diâmetro máximo que uma árvore pode possuir. Nesse caso, uma grande quantidade de pontos pode ser eliminada de forma eficiente.

Na literatura encontram-se diferentes metodologias que tratam sobre filtragem de pontos não pertencentes às árvores. Simonse et al. (2003) baseou-se no processo, o qual consistiu na eliminação de pontos analisando sua intensidade de refletância, eliminando os pontos de objetos diferentes de árvores como pontos do solo e outros. Os autores ainda utilizaram um modelo digital do terreno que elimina praticamente todos os pontos que pudessem pertencer ao solo.

No trabalho em questão eliminaram-se os pontos ruídos mais próximos à árvore de forma visual e comparativa. Para tal, foram extraídas fatias com

espessura de 5 cm ao longo do fuste. Os pontos que nitidamente pertenciam à árvore foram utilizados de base para o cálculo da média e do desvio padrão de cada fatia. A comparação consistiu em eliminar os pontos que ultrapassassem os limites superior e inferior relativos à soma e subtração de um desvio padrão da coordenada X e Y. Com isso, pontos que visualmente pareciam pertencer à árvore, mas não pertenciam, puderam ser eliminados de forma coerente e rápida.

Geração das alturas

Com a árvore completamente isolada e devidamente filtrada iniciou-se o processo de transformação de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) em coordenadas arbitrárias. Para tal processo tornou-se necessário definir 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. Como consequência, erros na determinação tanto da altura total quanto das alturas parciais ocorrerão e a precisão que se desejava alcançar não será atingida.

Para encontrar o ponto zero da árvore, após os procedimentos de isolamento e filtragem, foi feita uma média dos pontos mais baixos encontrados. Esta média foi então considerada como o ponto de altura zero da árvore. A partir deste ponto cada coordenada foi transformada, obtendo assim a altura de cada ponto obtido pelo *laser*, usando a equação

$$Aps = Arn - Coop$$

onde:

Aps = altura do ponto em metros a partir do solo,

Arn = altura real a partir do nível médio dos mares e,

Coop = coordenada real do ponto zero.

Resultados e Discussões

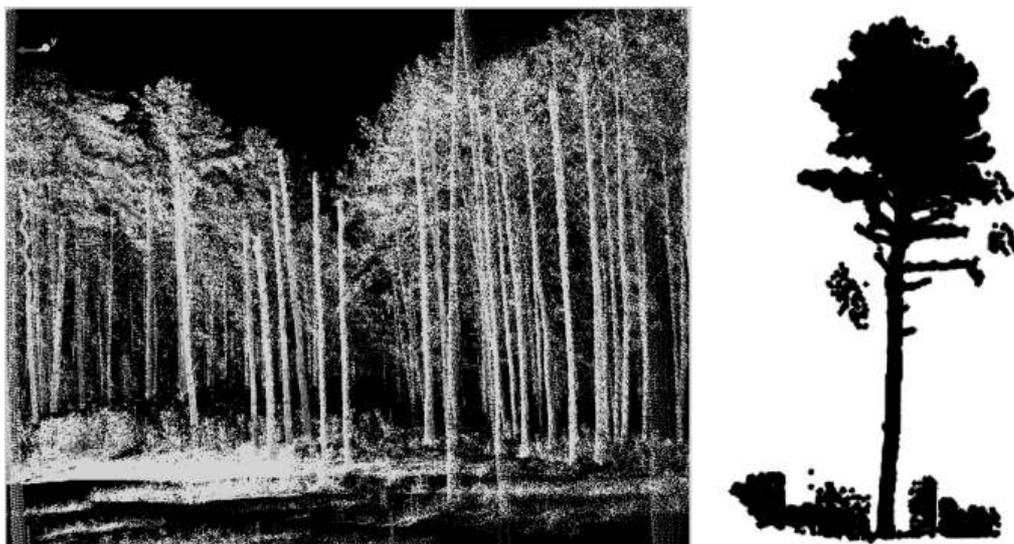
Isolamento da árvore

Utilizando a metodologia supracitada obteve-se como resultado um grande conjunto de pontos que em sua maioria eram pertencentes à árvore. No entanto, 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 arbórea e, em alguns casos, de árvores vizinhas, acabaram sendo

englobados nessa nuvem de pontos isolados (Figura 3). Isto demonstra que processos de filtragem são extremamente necessários para a eliminação desses pontos.

A metodologia descrita por Bienert et al. (2006) consiste em extrair fatias, de uma determinada espessura, da nuvem de pontos a uma altura de 1,30m a partir do MDT. Essas fatias são analisadas por alguns processos automatizados que possibilitam discernir árvores dos demais objetos, servindo então como um localizador de árvores. Este método usado por Bienert et al. (2006), ao contrário do utilizado no presente trabalho (método manual e visual), possibilita a identificação e isolamento de árvores sem a necessidade de informar ao programa a coordenada de qualquer árvore escaneada, o que torna o processo mais rápido e eficiente. No entanto, para o objetivo deste trabalho, o método proposto, foi satisfatório e gerou bons resultados. A metodologia

Figura 3. Nuvem de pontos obtida pela varredura e à direita a nuvem de pontos de uma árvore isolada



de Bienert et al. (2006) não pode ser aplicada caso o povoamento possua sub-bosque com altura maior do que 1,30 m.

Filtragem dos pontos

Após a aplicação do procedimento metodológico referente à filtragem dos pontos não pertencentes ao objeto de interesse, obteve-se como resultado uma árvore praticamente isolada quanto a qualquer tipo de ruído (objetos não pertencentes à árvore). Isso permite que as variáveis dendrométricas possam ser extraídas de forma mais precisa. Na figura 4 tem-se uma visão parcial do fuste, o qual foi submetido à filtragem e nota-se que uma grande quantidade de pontos, que não foram eliminados na fase de isolamento da árvore, foram eliminados após a aplicação de filtro.

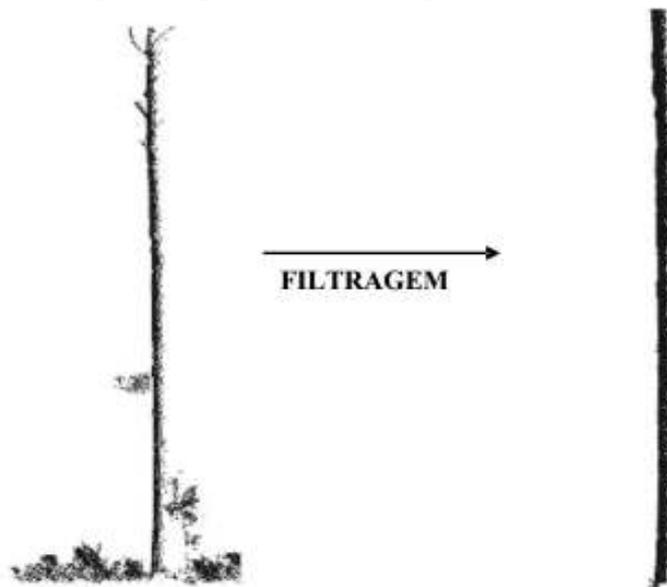
A metodologia proposta para este trabalho gerou bons resultados, embora processos mais automatizados

possam trazer resultados de mesma natureza em um espaço de tempo bem menor. O desenvolvimento de processos automatizados é de grande valia quando se objetiva trabalhar com um número maior de árvores e, portanto será necessário para outras fases deste projeto implementar algoritmos que realizem esta metodologia.

Obtenção das alturas

A geração de variáveis dendrométricas, como a altura, foi o principal objetivo deste estudo. No ajuste de equações volumétricas para estimativa de volumes de talhões é utilizado como uma das variáveis a altura total das árvores. Para ajustar equações de afilamento, que permitem realizar um sortimento do estoque de madeira, em volume, dentro da floresta, é necessário cubicar árvores para medir diâmetros a diversas alturas, e, portanto a determinação de alturas

Figura 4. Antes e depois do processo de filtragem



parciais é pré-requisito para realização da cubagem. O diferencial do *laser* é que ele permite a determinação do volume da árvore em pé, ou seja, não há necessidade de derrubar a árvore para que seus diâmetros e alturas sejam medidos.

Dentro deste contexto é necessária a aplicação de uma metodologia que permita obter com precisão as variáveis altura total e alturas parciais. Com o método empregado chegou-se a altura total de 31,93 metros e as alturas parciais podem obtidas com um intervalo totalmente variável (Figura 5), como por exemplo, em intervalos de um metro para facilitar a visualização deste resultado.

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. No trabalho em questão a nuvem de pontos foi transformada para um arquivo vetorial (pontos) e visualizada e um *software* de Sistema de informações geográficas

Figura 5. Detalhamento das alturas parciais de uma árvore

Altura (metros)

- 31,01 - 32,00
- 30,01 - 31,00
- 29,01 - 30,00
- 28,01 - 29,00
- 27,01 - 28,00
- 26,01 - 27,00
- 25,01 - 26,00
- 24,01 - 25,00
- 23,01 - 24,00
- 22,01 - 23,00
- 21,01 - 22,00
- 20,01 - 21,00
- 19,01 - 20,00
- 18,01 - 19,00
- 17,01 - 18,00
- 16,01 - 17,00
- 15,01 - 16,00
- 14,01 - 15,00
- 13,01 - 14,00
- 12,01 - 13,00
- 11,01 - 12,00
- 10,01 - 11,00
- 09,01 - 10,00
- 08,01 - 09,00
- 07,01 - 08,00
- 06,01 - 07,00
- 05,01 - 06,00
- 04,01 - 05,00
- 03,01 - 04,00
- 02,01 - 03,00
- 01,01 - 02,00
- 00,00 - 01,00



(ArcGIS 9.1). 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.

Conclusões

Os resultados apresentados são oriundos de um estudo piloto, onde foi analisada uma árvore. No entanto, o levantamento dos dados *laser* obteve a varredura de diversas árvores. A análise para um grupo de árvores ainda será implementado no futuro. Os resultados obtidos até o momento mostram que esta tecnologia é viável e traz bons resultados. O planejamento e a coleta de dados foram fatores contribuintes, servindo como alicerces, para que as demais fases do projeto pudessem ser desenvolvidas de forma eficiente.

Referências

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.

A fase de coleta de dados ainda deve ser testada em povoamentos de diferentes idades e densidades. No presente estudo, o povoamento apresenta uma densidade de 890 arv/ha, ou seja, é um povoamento pouco denso, não ocorrendo muita sobreposição e sombreamento de árvores e é, portanto, a situação ideal.

A determinação de diferentes intervalos de altura foi satisfatória e é requisito para se calcular os diâmetros nestas sessões. A característica deste tipo de dado permite gerar informações precisas sobre parâmetros geométricos da árvore em grandes parcelas. No entanto, povoamentos com sub-bosque dificultam a determinação da base da árvore.

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. A aplicação desta tecnologia permite que a forma das árvores, o afilamento, e o volume real do fuste, os quais são aspectos importantes no manejo florestal, para a avaliação da produção e qualidade da madeira, sejam obtidos de forma não destrutiva. 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. Os dados *laser* também podem ser utilizados na sivilcultura em simulações de podas e desbastes.

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

<http://www.manfra.com.br/produtos.php?tipo=novos&produto=58>. Acesso em: 08 fev. 2007.

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

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. pp. 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.