



Revista Brasileira de Cartografia (2013) N^o 65/4: 673-680
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

TREEX (TREE EXTRACTOR) – UMA FERRAMENTA PARA ANÁLISE DE DOSEL FLORESTAL E CONTAGEM DE ÁRVORES A PARTIR DE DADOS LIDAR

TreeX (TREE EXTRACTOR) – a Tool for Forest Canopy Analysis and Tree Counting with LiDAR Data

Rodrigo de Campos Macedo, João Roberto dos Santos & João Viane Soares

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Coordenação de Observação da Terra – OBT
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{macedo, jroberto, viane} @dsr.inpe.br

Recebido em 04 de outubro, 2012/ Aceito em 23 de janeiro, 2013
Received on October 04, 2012/ Accepted on January 23, 2013

RESUMO

Os meios mais utilizados para obter dados dendrométricos são os inventários e levantamentos de campo, mas desde 1993, sensores ópticos ativos, conhecidos como *laserscanners*, começaram a ser utilizados especificamente no meio florestal. A proposta deste artigo é que a utilização das abordagens de máximos locais e crescimento por regiões viabilizará as estimativas de parâmetros dendrométricos com dados obtidos via *laserscanner* aerotransportado compatíveis com o inventário florestal tradicional. Os objetivos estabelecidos foram detectar os pontos referentes aos topos das árvores através de máximos locais, modelar a área de copa a partir de crescimento de regiões e validar estas estimativas em relação à referência de campo, para três parâmetros: quantidade de árvores, altura total e área de copa, com RMSE máximo aceitável de 10%. A área de estudo é localizada no município de Igaratá/SP e possui 145,46ha de plantio de eucaliptos com 4 anos de idade. Foi utilizado o Optech ALTM 2050, com footprint de 0,25m, adquiridos através de um levantamento aéreo. Considerando todas as parcelas medidas em campo, obteve-se um percentual de acerto de 96,35% (RMSE de 6,35%) para quantidade de árvores; 97,50% (RMSE de 6,50%) para altura total e; 83,53% (RMSE de 24,79%) para área de copa. A partir da análise dos dados foi possível verificar que as estimativas apresentaram erros aceitáveis para a quantidade de árvores e altura total, porém apresentou superestimativa da área de copa, com erro acima do limite tolerável.

Palavras chaves: Inventário Florestal, LiDAR, Máximos Locais.

ABSTRACT

Forest inventory survey are commonly used to obtain dendrometric data. but since 1993, optical active sensors, known as *laserscanners*, started to be specifically used in forest applications. The purpose of this paper is that the use of local maxima and region growing approaches will make it possible the estimative of dendrometric parameters with LiDAR data, compatible with the field measurement. The aims are to detect the treetops through local maxima, modeling the crown area through region growing and to validate these estimatives in relation to field references, for three parameters:

amount of trees, tree height and crown area, with acceptable maximum RMSE of 10%. The study area is located in the municipality of Igaratá (Sao Paulo State) and owns a four-year old eucalypts plantation, distributed over an area of 145.46 ha. The Optech ALTM 2050 has been employed, with a 0.25 m footprint, acquired by an average flight height of 1,000 m. Considering all plots regarded in this analysis, we obtained a hit percentage of 96.35% (RMSE of 6.35%) to the amount of trees, 97.50% (RMSE of 6.50%) for total height and 83,53% (RMSE of 24.79%) for crown area. From the data analysis it was possible to verify that the estimatives presented acceptable errors for the amount of trees and total height, but overestimated the crown area, with error above the tolerable limit.

Keywords: Forest Inventory, LiDAR, Local Maxima.

1. INTRODUÇÃO

A mensuração dos principais parâmetros dendrométricos é essencial para a modelagem e geração de prognósticos de volume madeireiro. Em povoamentos florestais homogêneos, a altura total, justamente por ser mais influenciada por fatores genotípicos que ambientais, varia menos que a área basal. Sendo assim, torna-se factível realizar estimativas volumétricas apenas com os parâmetros relacionados ao dossel florestal – área de copa, quantidade de árvores e, principalmente, altura total (STRAUB et al., 2008; ZANDONÁ et al., 2008; MACEDO, 2009).

A altura total é uma propriedade biofísica importante para indicar características da cobertura florestal que está sendo observada, tais como condições estruturais, grau de perturbação, condições de sítio, nível de produção florestal e outros aspectos úteis para o monitoramento e modelagem (LEITE e ANDRADE, 2003; MIURA e JONES, 2008). Nos últimos anos, a geração e aquisição de dados hipsométricos através do uso de sensores remotos vem se intensificando, principalmente com LiDAR (*Light Detection and Ranging*), considerado um sensor com maior precisão e exatidão, em relação a outros sensores remotos, para obtenção da altura arbórea (LEWIS e HANCOCK, 2007). Já a área de copa pode ser relacionada com área basal e, conseqüentemente, substituí-la em inventário florestal com dados remotos (NELSON et al., 2008). Ao estimar essas variáveis, torna-se necessário conhecer o erro da estimativa, principalmente através de validação, que consiste em comparar estatisticamente os valores das referências adotadas com os valores estimados (KRAUSS, 2007).

Além da obtenção das alturas das árvores, é necessário quantificar e delimitar suas copas, visando obter os demais parâmetros dendrométricos. A delimitação das árvores pode ser realizada a partir das copas, tais como segmentação em imagens ópticas (ST-ONGE et al., 2004) e/ou a partir das alturas. Neste artigo não serão abordadas técnicas que utilizam fotografias ou imagens orbitais de alta resolução como

co-variável (através de classificação orientada a objeto, principalmente), mas sim técnicas que utilizam como insumo básico um MDA (Modelo Digital de Altura) – uma grade regular com os valores das alturas contidos nos pixels, porém sem a delimitação dos indivíduos arbóreos (KRAUSS, 2007).

Uma abordagem pioneira para algoritmos que utilizam o MDA como insumo principal para a individualização das árvores é a adaptação de técnicas de delimitação de bacias: invertendo o MDA, mapeando os “fundos de vale” e “divisores de água” e, invertendo-os novamente, possibilitando a delimitação dos indivíduos arbóreos (GOUGEON, 1998). Outra abordagem é a busca pelos valores mínimos locais. Através da ligação destes pixels há a formação de polígonos que representam as copas, sendo que as áreas dos polígonos representam as áreas das copas e os centróides representam a altura total (DIEDERSHAGEN et al., 2000). Visando evitar a tendência de se formar copas justapostas, é possível iniciar a busca pelos máximos locais (BRANDTBERG et al., 2003). Friedlaender e Koch (2000) expressam a importância da lógica de máximos locais para a identificação do topo de uma árvore. Após a delimitação do topo das árvores, é possível estimar o diâmetro das copas através da relação hipsométrica entre altura e diâmetro de copa, possibilitando a geração de copas em formato circular (KINI e POPESCU, 2004). Porém, em povoamentos clonais, devido à seleção genotípica, as alturas tendem à homogeneidade, enquanto para outros parâmetros biofísicos não são afetados pelo genótipo – copa e área basal – tal homogeneidade não ocorre. Por isto, as relações hipsométricas são muito fracas, limitando a utilização de algoritmos que pressupõem relações entre altura e área de copa. Outra forma de se delimitar as copas é através de algoritmos de crescimento de regiões, definindo-se limiares, tais como altura mínima, diâmetro máximo e diâmetro mínimo das copas (CASTRO, 2006).

A proposta deste artigo é estimar parâmetros dendrométricos a partir de dados LiDAR. Para isto, pretende-se implementar o algoritmo *Treex (Tree eXtractor)*. Os objetivos foram: i) detectar os pontos referentes aos topos das árvores através de máximos locais; ii) modelar a área de copa a partir de crescimento de regiões e, iii) validar estas estimativas em relação à referência de campo, para três parâmetros: quantidade de árvores, altura total e área de copa, com RMSE máximo aceitável de 5%.

2. 2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo é localizada em Igaratá (23°12'16"S;46°09'22"O), Estado de São Paulo, na região conhecida como Vale do Paraíba. Possui 267,98 ha, sendo 145,46 ha ocupados com eucaliptos plantados em maio de 2004. Esta área foi escolhida por ser uma plantação florestal controlada, com a existência de inventário florestal contínuo e um censo de quantidade de árvores em três de seus nove talhões. (PIMENTEL, 2008). A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo e uma visão geral da cobertura florestal.

2.2 Procedimentos Gerais

A Figura 2 apresenta o esquema metodológico utilizado.

O levantamento de campo foi realizado em junho de 2008. Foram medidas 20 parcelas retangulares de 60 árvores (espaçamento de 3x2m), aleatoriamente distribuídas, evitando-se proximidades com estradas e aceiros, visando minimizar os efeitos de borda. A intensidade amostral foi de 1 parcela a cada 7,5ha, totalizando 7713m²

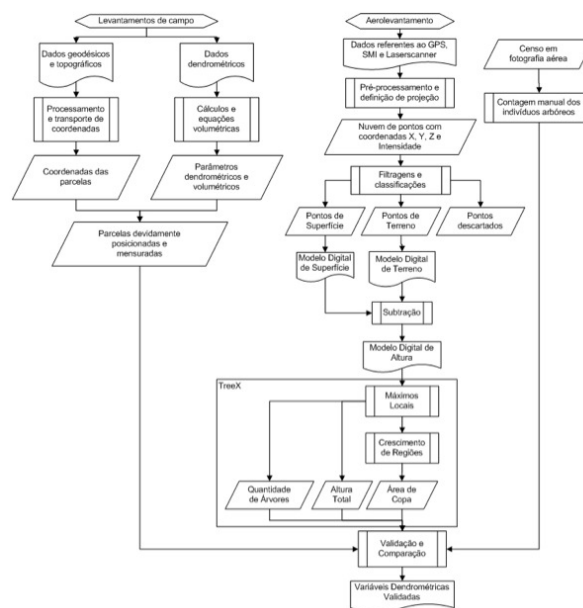


Fig. 2 - Fluxograma metodológico adotado.

(0,53% da área plantada) e 1210 árvores. Foram medidos os perímetros das parcelas e mensurado o DAP (Diâmetro a Altura do Peito) de todos os indivíduos arbóreos presentes em seu interior. As variáveis altura total, diâmetro de copa e densidade foliar foram medidas apenas nas dez primeiras árvores e nas cinco dominantes. A determinação da altura foi efetuada com hipsômetro de Haag. Os diâmetros de copa foram medidos na projeção vertical, com trena.

O levantamento aéreo *laserscanner* foi realizado em abril de 2008, a uma altura de 1000m, com frequência de varredura de 58,7Hz, ângulo de varredura de 15° e largura do feixe de 25cm. A densidade de pontos adquiridos foi de 5 por m². O *laserscanner* utilizado foi o Optech ALTM 2050 (50kHz), que atua na região espectral de 1064nm,

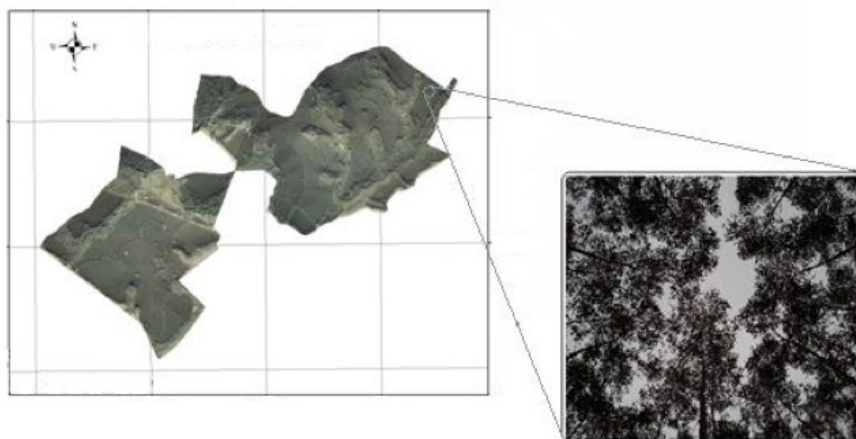


Fig. 1 – Aspecto geral da área de estudo, com detalhamento das copas de eucaliptos, destacando o nível de cobertura do dossel.

registra 2 retornos (primeiro e último pulsos) e possui sistema de varredura com espelho oscilante (Z-Scan). O SMI (Sistema de Medição Inercial) utilizado foi o Applanix (200Hz).

A partir dos dados LiDAR, foram gerados dois modelos: MDS (Modelo Digital de Superfície), representando o topo das árvores e; MDT (Modelo Digital de Terreno), representando a superfície topográfica. Para isto foram utilizados filtros implementados no aplicativo *TerraScan*. O MDT foi subtraído do MDS, resultando em um MDA, possibilitando a espacialização das alturas arbóreas. O MDA e as parcelas de campo foram utilizadas como dados de entrada no *TreeX*, implementado em IDL (*Iterative Data Language*) (ITT VIS, 2008).

Inicialmente, o algoritmo localiza os pontos máximos locais no MDA. Para isto, é utilizada uma janela de busca com dimensão equivalente ao tamanho médio da área de copa e um deslocamento equivalente ao desvio padrão da área de copa. Caso algum ponto de máximo encontrado possua valor inferior a altura mínima aceitável (limiar), é descartado. Com os pontos máximos locais já é possível estimar a quantidade de árvores e suas respectivas coordenadas de posicionamento e altura total.

Após a definição dos pontos máximos, realiza-se o processo de crescimento de regiões. Os pontos máximos encontrados são utilizados como sementes, e seus vizinhos são adicionados por ordem decrescente de valor no MDA. O processo de crescimento dos polígonos é interrompido quando a região encosta no polígono vizinho (copas justapostas) ou alguma das condições limitantes é atingida, tais como o tamanho máximo de copa e altura mínima aceitável.

As saídas do *TreeX* são duas imagens e uma tabela: uma imagem com os pontos de localização dos indivíduos arbóreos (máximos locais) e outra com os polígonos representativos das copas arbóreas (crescimento de regiões). O arquivo tabular possui informações sobre cada árvore, contendo sua identificação (valor inteiro sequencial), suas coordenadas (em linha/coluna), sua altura total (na unidade dos dados, por exemplo, em metros) e sua área de copa (com base na unidade dos dados, por exemplo, em metros quadrados).

Os parâmetros dendrométricos obtidos com o *Treex* foram validados utilizando-se as referências

de campo e – especificamente para a quantidade de indivíduos arbóreos – um censo digital em fotografia aérea de alta resolução. Neste censo digital foi realizada contagem árvore-a-árvore de três talhões inteiros (PIMENTEL, 2008).

Visando auxiliar na comparação entre as mensurações de campo e as estimativas do algoritmo, foi calculado o RMSE (*root mean square error*) como medida estatística da magnitude do erro, expresso na Equação 1.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (1)$$

onde: N = População; x_i = valores individuais das estimativas

Após verificar a normalidade da distribuição das estimativas, foram calculados o erro amostral, o intervalo de confiança e analisadas as discrepâncias entre valores, como pode ser visto nas Equações 2 e 3.

$$E = t \cdot S_{\bar{y}} \quad (2)$$

Onde E=Erro Amostral; t =student tabelado; $S_{\bar{y}}$ =Desvio da estimativa da média

Para o valor t , considerou-se 1,96 (95%) em todos os cálculos.

$$IC = \{\bar{y} - t \cdot S_{\bar{y}} \leq \mu \leq \bar{y} + t \cdot S_{\bar{y}}\} \quad (3)$$

Tabela 1 - Variáveis dendrométricas por talhão/parcela.

| PARC. | ÁREA PARCELA (m ²) | ÁRVORES /ha | ALTURA (m) | COBERTURA (%) | ÁREA COPA (m ²) |
|-------------|--------------------------------|-------------|------------|---------------|-----------------------------|
| 1 | 395,60 | 1517 | 21,15 | 61,54 | 5,31 |
| 2 | 390,60 | 1485 | 24,90 | 69,23 | 6,84 |
| 3 | 383,25 | 1566 | 22,62 | 76,67 | 6,86 |
| 4 | 384,56 | 1560 | 20,49 | 71,43 | 5,39 |
| 5 | 372,13 | 1585 | 22,19 | 67,86 | 7,14 |
| 6 | 382,95 | 1567 | 22,90 | 61,67 | 4,65 |
| 7 | 364,00 | 1648 | 22,05 | 80,00 | 7,56 |
| 8 | 421,80 | 1351 | 23,49 | 75,00 | 6,50 |
| 9 | 374,00 | 1578 | 22,64 | 85,71 | 4,79 |
| 10 | 363,81 | 1649 | 21,15 | 66,67 | 6,77 |
| 11 | 361,92 | 1630 | 21,26 | 65,00 | 4,97 |
| 12 | 387,45 | 1574 | 22,12 | 69,64 | 6,84 |
| 13 | 388,24 | 1520 | 23,32 | 76,79 | 5,48 |
| 14 | 387,66 | 1599 | 19,45 | 75,00 | 7,19 |
| 15 | 417,36 | 1414 | 21,97 | 73,33 | 5,75 |
| 17 | 371,85 | 1533 | 21,09 | 75,00 | 6,49 |
| 18 | 366,00 | 1585 | 21,41 | 68,33 | 5,58 |
| 19 | 367,20 | 1634 | 22,65 | 71,43 | 3,69 |
| 20 | 422,73 | 1419 | 23,74 | 76,79 | 1,63 |
| 21 | 409,92 | 1464 | 23,24 | 76,92 | 1,86 |
| TOTAL/MÉDIA | 7713,03 | 1544 | 22,19 | 72,20 | 5,56 |

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais variáveis dendrométricas medidas em campo podem ser visualizadas na Tabela 1. A distribuição hipsométrica apresentou alta homogeneidade, típica de povoamentos clonais.

A média para altura total e área de copa foram 22,19m e 5,56m², respectivamente. O índice de cobertura de dossel obtido – em torno de 72,2% – é considerado como um dossel fechado (XAVIER et al, 2002; MONTE et al., 2007). Holmgreen et al. (2008) consideram este percentual como baixa penetrabilidade, dificultando-se a obtenção de retornos representativos do solo sob dossel.

As quantidades de árvores contadas em campo e estimadas com o TreeX foram extrapoladas por ha. A comparação entre as quantidades de árvores contadas nas parcelas de campo (média de 1544 árvores por ha) e as estimadas pelo TreeX (média de 1598 árvores por ha) apresentou 95,5% de acerto e RMSE de 124 árvores por ha (3,65% de resíduos), com superestimativa influenciada diretamente pelo efeito do filtro passa-baixa, tamanho e deslocamento da janela móvel. Foram plotados os resíduos por parcela, sem ajustes, expressando apenas as diferenças (Figura 3).

Através da plotagem dos resíduos é perceptível a tendência de superestimação na quantidade de árvores, característica citada na literatura de autores que utilizam algoritmo de máximos locais. Foram calculados o erro amostral e os intervalos de confiança (95%) para a estimativa de quantidade de árvores e para a mensuração de campo (Figura 4). Os intervalos de confiança são coincidentes, qualificando a estimativa como aceitável.

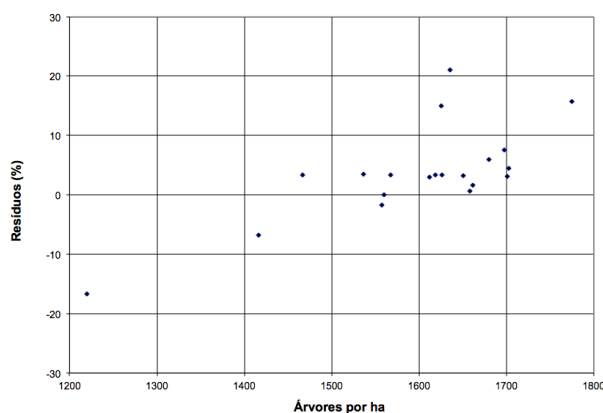


Fig. 3 – Distribuição dos resíduos da estimativa de quantidade de árvores em relação ao levantamento de campo.

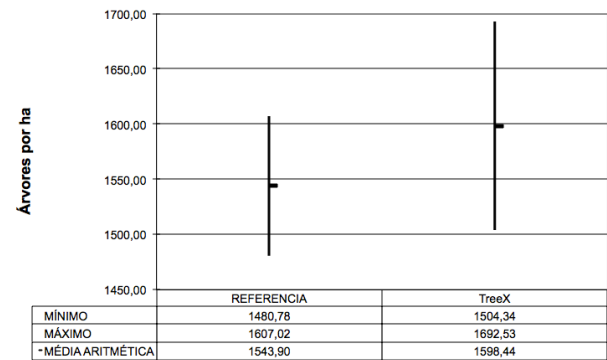


Fig. 4 – Intervalos de confiança da referência de campo e da estimativa da quantidade de árvores.

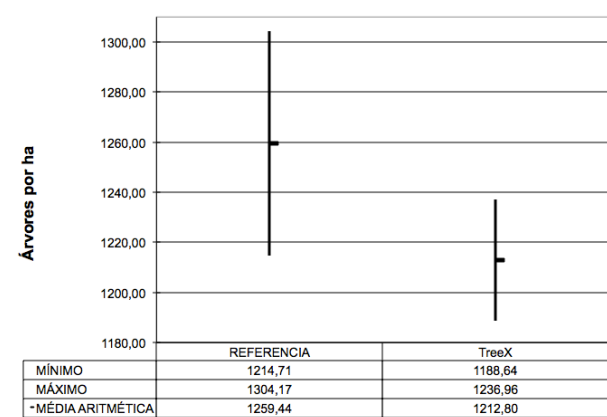


Fig. 5 – Intervalos de confiança da referência (censo por fotografia aérea) e da estimativa, para a quantidade de árvores.

Visando incrementar a análise, foram utilizados os dados provenientes do censo digital (PIMENTEL, 2008). O resultado da comparação entre este censo digital (média de 1259 árvores por ha) com a estimativa do algoritmo (média de 1213 árvores por ha) apresentou 96,35% de acerto e RMSE de 80 árvores por ha (6,35%). Diferentemente da comparação com as parcelas de campo, não houve viés positivo. Na Figura 5 é possível verificar os intervalos de confiança (95%) para os dois conjuntos de dados. A relativa sobreposição dos intervalos de confiança expressa a aceitação da estimativa em relação à referência (censo digital).

A diferença entre as referências – censo por fotografia aérea e a extrapolção da contagem nas parcelas de campo – pode ser explicada por diversos motivos, mas principalmente pelo fato de a área efetivamente plantada ser menor que a área cadastrada (base vetorial). Tal diferença pode ser ocasionada por: estradas mais largas que as plotadas na base cartográfica; presença de parcelas experimentais em áreas indicadas como “efetivo

plântio”; redução de área plantada devido a afloramentos rochosos ou mesmo presença de galhada (proveniente do ciclo anterior) no momento do plantio; influência da declividade, etc. Como esta diferença entre área efetivamente plantada e área cadastrada na base vetorial é muito difícil de ser controlada, recomenda-se adotar o censo via fotografia aérea como referência.

Realizou-se a comparação entre altura total mensurada em campo (média de 22,78m) e estimada via *TreeX* (média de 22,21m), com 97,50% de acerto, média dos resíduos em -2,50%, cuja distribuição pode ser visualizada na Figura 6. O RMSE calculado é 1,48m (6,50%).

Através da plotagem dos resíduos, é perceptível a relativa precisão quanto à altura total. Foram calculados os intervalo de confiança (95%) para os dois conjuntos de dados (Figura 7). Por serem coincidentes, a estimativa é qualificada como aceita.

Também se comparou a área de copa mensurada em campo (média de 6,01m²) e estimada via *TreeX* (média de 7,00m²), com 83,53% de acerto, média dos resíduos em 19,36% e RMSE de 1,49m² (24,79%). Os valores residuais sofreram

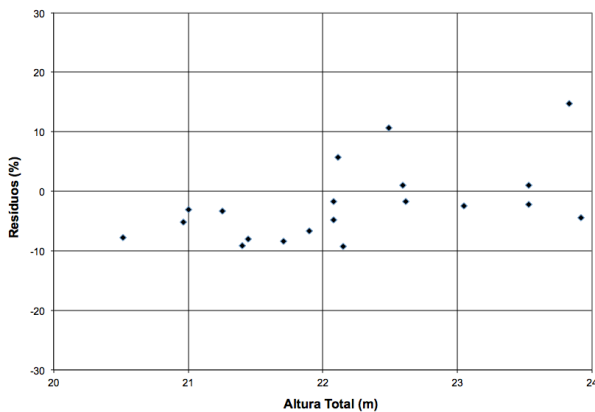


Fig. 6 - Distribuição dos resíduos da estimativa de altura total em relação ao levantamento de campo.

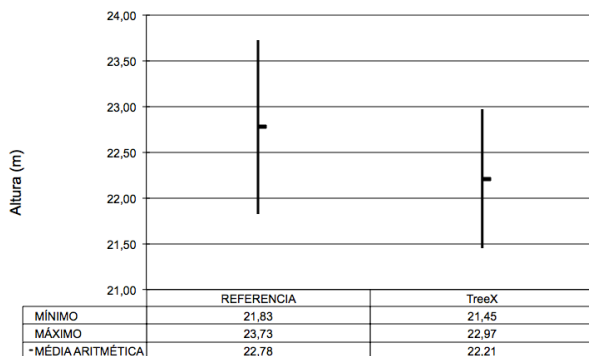


Fig. 7 – Intervalos de confiança da referência de campo e da estimativa da altura total.

o efeito direto dos limiães do crescimento de região. Sua distribuição pode ser visualizada na Figura 8.

Através da plotagem dos resíduos ficou perceptível a necessidade de melhorias na estimativa de área de copa. Os limiães adotados – contato com a próxima copa, tamanho máximo de copa, e altura mínima – não foram suficientes para gerar um polígono compatível com a copa real. Foram calculados o desvio da média, o erro amostral e o intervalo de confiança (95%) para os dois conjuntos de dados (Figura 9).

Os intervalos de confiança apresentaram um grau de coincidência muito baixo, evidenciando a estimativa insatisfatória para a área de copa.

García et al. (2007) compararam os resultados obtidos com os aplicativos *TreesVIS* (WEINACKER et al., 2004), *ITC* (GOUGEON, 2005) e *TreeVaW* (POPESCU, 2006) em uma floresta plantada. Na Tabela 2 é possível verificar a comparação entre estes resultados e o *TreeX*.

Apesar de os resultados não atenderem satisfatoriamente às exigências para a área de copa,

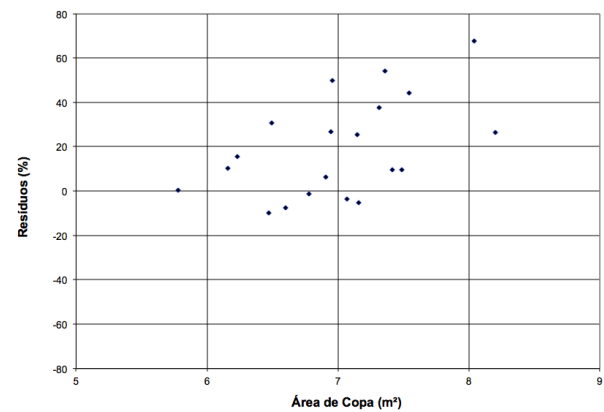


Fig. 8 - Distribuição dos resíduos da estimativa de área de copa em relação ao levantamento de campo.

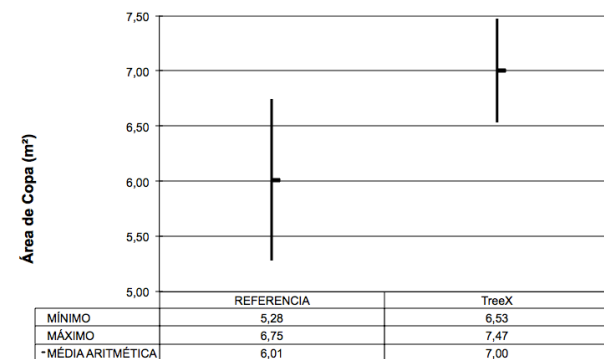


Fig. 9 – Intervalos de confiança da referência de campo e da estimativa da área e copa.

Tabela 2 – Comparação entre diversos algoritmos.

| | | TreesVIS | ITC | TreeVaW | TreeX |
|-----------------------|-----------------------------|----------|-------|---------|-------|
| Quantidade de árvores | Acerto (%) | 89,40 | 78,70 | 87,20 | 96,35 |
| | RMSE (m) | 2,40 | 2,29 | 1,93 | 1,48 |
| Altura total | RMSE (%) | 10,05 | 9,46 | 8,12 | 6,50 |
| | Diferença (m) | -1,45 | -1,59 | -1,18 | -0,57 |
| | RMSE (m) | 2,51 | 1,81 | 2,51 | 1,49 |
| Área de copa | RMSE (%) | 44,51 | 31,7 | 44,52 | 24,79 |
| | Diferença (m ²) | -2,11 | -1,51 | -2,27 | -0,99 |
| | | | | | |

são compatíveis com os principais algoritmos disponibilizados na literatura especializada.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados, a seleção dos pontos máximos locais para a estimativa da quantidade de árvores e da altura total foi plenamente satisfatória. Já o crescimento de regiões para modelar e estimar a área de copa não apresentou resultados satisfatórios, requerendo melhorias nesta abordagem ou mesmo a adoção de outras técnicas, tais como classificação baseada em objetos. Sendo assim, a utilização do algoritmo *TreeX* apresentou resultados compatíveis com a acurácia necessária à gestão florestal para a quantidade de árvores e altura total.

Recomenda-se o aprimoramento e otimização do *TreeX* e o estudo de outras abordagens para a extração de variáveis dendrométricas a partir de dados LiDAR, incluindo povoamentos de diversas idades e de distintos índices de sítio.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e ao CNPq pela bolsa de pesquisa aos autores. À VCP (Votorantim Celulose e Papel S/A), pelo financiamento do aerolevanteamento e disponibilização de dados e de pessoal. À DSR/INPE (Divisão de Sensoriamento Remoto), pela disponibilização de equipamentos, transporte e pessoal para a execução dos levantamentos de campo. À Eliana Pantaleão (DPI/INPE – Divisão de Processamento de Imagens), por possibilitar a gênese do “*TreeX*”; Sorin Popescu (Texas A&M University), por ceder o *TreeVaW*; Krzysztof Sterenczak (Warsaw University of Life Sciences), por ceder seu algoritmo ainda anônimo e Benoit St-Onge (University of Quebec), pelas recomendações para segmentação de copas. Aos revisores, cujas críticas contribuíram para a qualidade final do artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRANDTBERG, T.; WARNERA, T.; LANDENBERGERB, R. E.; MCGRAWB, J. B. Detection and analysis of individual leaf-off tree crowns in small footprint, high sampling density lidar data from the eastern deciduous forest in North America. **Remote Sensing of Environment**, v. 85. p. 290–303. 2003.
- CASTRO, F. da C. **Segmentação de imagens geradas por Laser Scanning aerotransportado para delimitação de árvores individuais em áreas de reflorestamento de eucaliptos**. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2006. 76p.
- DIEDERSHAGEN, O.; KOCH, B.; WEINACKER, H. Automatic Segmentation And Characterisation of Forest Stand Parameters Using Airborne Lidar Data, Multispectral and Fogis Data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and spatial Information Sciences*, v. XXXVI. **Anais**. Amsterdam. 2000. p. 208-212.
- FRIEDLAENDER, H.; KOCH, B. First Experience In The Application of Laserscanner Data for the Assessment of Vertical and Horizontal Forest Structures. **IAPRS**, v. XXXIII, Amsterdam, p. 693-700. 2000.
- GARCÍA, R.; PATENAUDE, G.; SUÁREZ, J. C. Delineation of individual tree crowns for LiDAR tree and stand parameter estimation in scottish woodlands. **Lecture Notes on Geoinformation and Cartography**, Part 2, p. 55-85. 2007.
- GOUGEON, F.A. **Automatic individual tree crown delineation using a valley-following algorithm and a rule-based system**. Proceedings of the International Forum on Automated Interpretation of High Spatial Resolution Digital Imagery for Forestry. Pacific Forestry Centre, Victoria B. C., 1998. p. 11-23.
- GOUGEON, F.A. **The ITC Suite Manual. A Semi-Automatic Individual Tree Crown (ITC) Approach to Forest Inventories**. Canadian Forest Service. Victoria, British Columbia, Canada. 2010. 92p.
- HOLMGREEN, J.; JOHANSSON, F.; OLOFSSON, K.; OLSSON, H.; GLIMSKAR, A. Estimation of crown coverage by using airborne laser scanning. *Silvilaser 2008*. **Anais**. Edinburgh, UK. 2008. p. 50-57.

- ITT VISUAL INFORMATION SOLUTIONS (ITT VIS). **Products and services for data visualization and image processing**. 2008. Disponível em: <http://www.ittvis.com>. Acesso em: 1 jun. 2009.
- KINI, A.; POPESCU, S. C. TreeVaW: a versatile tool for analyzing forest canopy LIDAR data: A preview with an eye towards future. CD-ROM Proceedings. ASPRS 2004. **Anais**. Fall Conference, Kansas City, Missouri. 2004. 10p.
- KRAUSS, K. **Photogrammetry - Geometry from images and Laser Scans**. 2nd Edition. de Gruyter. 2007. 451p.
- LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. de. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.301-310, 2003.
- LEWIS, P.; HANCOCK, S. **LiDAR for vegetation applications**. UCL, Gower St, London, UK. January 23, 2007. 29p.
- MACEDO, R. C. **Estimativa volumétrica de povoamento clonal de *Eucalyptus sp.* através de laserscanner aerotransportado**. 2009. 143p. (INPE-15743-TDI/1488). Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009.
- MIURA, N.; JONES, S. Characterising the ecological structure of a dry Eucalypt forest landscape. *Silvilaser* 2008. **Anais**. Edinburgh, UK. 2008. p. 126-133
- MONTE, M. A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G. dos; LEITE, H. G.; STOCKS, J. J. Métodos indiretos de estimação da cobertura de dossel em povoamentos de clone de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 769-775, jun. 2007.
- NELSON, R.; EAESSET; GOBAKKEN, T.; STAHL, G.; GREGOIRE, T. G. Regional Forest Inventory using an Airborne Profiling LiDAR. **Journal of Forest Planning**, v. 13. P. 287-294. 2008.
- PIMENTEL, V. T. F. **Uso de técnicas de interpretação de imagens na contagem das copas das árvores em plantios de eucalipto**. Relatório final de estágio. Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG. 2008. 21p.
- POPESCU, S. C. **TreeVaW (Tree Variable Window)**. 2006. Disponível em: http://www.ssl.tamu.edu/personnel/s_popescu/TreeVaW. Acesso em: novembro de 2011.
- ST-ONGE, B.; JUMELET, J.; COBELLO, M.; VÉGA, C. Measuring individual tree height using a combination of stereophotogrammetry and lidar. **Canadian Journal for Remote Sensing**, v. 34. p. 2122-2130. 2004.
- STRAUB, C.; DEES, M.; WEINACKER, H.; KOCH, B. Combining airborne laser scanning and GIS data to estimate timber volume of forest stands based on held models. *Silvilaser* 2008. **Anais**. Edinburgh, UK. 2008. p. 572-580.
- STUMPF, K. A. The estimation of forest vegetation cover descriptions using a vertical densitometer. In: Joint Inventory and Biometrics Working Groups session at the SAF National Convention. **Anais**. Indianapolis, IN. 1993. 10p.
- XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. de. Variação do Índice de Área Foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, v. 26, p. 421-427, 2002
- WEINACKER, H.; KOCH, B.; WEINACKER, R. TreesVIS – a software system for simultaneous 3D-real-time visualization of DTM, DSM, laser raw data, multispectral data, simple tree and building models. In: ISPRS: Laser-Scanner for forest and landscape assesment. **Proceedings**. Freiburg, Germany. 2004. p. 90-95
- ZANDONÁ, D. F.; LINGNAU, C.; NAKAJIMA, N. Y. Varredura a Laser aerotransportado para estimativa de variáveis dendrométricas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 295-306, dez. 2008.