

Revista Agrária Acadêmica

Agrarian Academic Journal

Volume 2 – Número 1 – Jan/Fev (2019)

doi: 10.32406/v2n12019/28-37/agrariacad

Sensor laser para determinação do volume foliar do dossel de plantas arbóreas

Laser sensor for determining the leaf volume of woody plants canopy

André Luís da Silva Quirino^{1*}, Mauri Martins Teixeira², Haroldo Carlos Fernandes³, Francisco de Assis de Carvalho Pinto⁴, Alexandre Santos Brandão⁵

¹ Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n,36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. (31) 3891-0345. andrelsqquirino@yahoo.com.br

² Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n,36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. (31) 3899-2729. mauri@ufv.br

³ Engenheiro Agrícola, Doutor. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n,36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. (31) 3899-2729. haroldo@ufv.br

⁴ Engenheiro Agrícola, Doutor. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n,36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. (31) 3899-2729. facpinto@ufv.br

⁵ Engenheiro Elétrico, Doutor. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n,36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. (31) 3899-3266. alexandre.brandao@ufv.br

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do sensor laser, modelo LMS 111, na extração de características referentes ao dossel de plantas arbóreas. Para validação da proposta uma planta adulta de café foi colocada em vaso com condições controladas. Para a determinação do volume foliar o LMS 111 foi montado em uma plataforma móvel com velocidades controladas de 1, 3 e 6 km/h. Na presente proposta, a velocidade de 3 km/h proporcionou os melhores resultados para a determinação do dossel das plantas arbóreas, pois foi possível determinar o volume de uma planta a partir da nuvem de pontos em um tempo inferior ao início da detecção da planta seguinte.

Palavras Chaves: Agrotóxicos, Nuvem de pontos, Sensor laser, Volume foliar

Abstract

This study aims to evaluate the performance of the laser sensor, Model LMS 111, in the extraction of features related to the canopy of woody plants. To validate the proposal, an adult coffee plant was placed in controlled conditions. For leaf volume reconstruction technique the LMS 111 was mounted on a mobile platform controlled at 1, 3 and 6 km/h. In such case, the time required to determine the volume of a plant from the cloud point was lower than the time required to leave the end of one plant and to start capturing information from the next one.

Keywords: Cloud of points, Lase sensor, Leaf volume, Spraying.

Introdução

O método baseado no *Tree Row Volume* (TRV) para a determinação do volume do dossel de plantas arbóreas é muito simples de ser empregado, porém é dependente do espaçamento, tamanho da planta, idade e outros fatores. Devido à sua simplicidade de uso, ele é o método manual mais utilizado atualmente. A medição de plantas empregando-se o método do TRV considera que todas as plantas possuem o mesmo tamanho e que cada linha de plantas a ser pulverizada é igual a uma parede formada pelas folhagens, sendo o volume de pulverização suficiente para recobri-la.

Considerando que há uma variabilidade espacial do dossel de plantas, quanto à altura, profundidade e densidade, torna-se necessário a individualização da aplicação de agrotóxicos sobre as copas. Em outras palavras, as recomendações deixam de ser em litros por hectares ($L\ ha^{-1}$), passando a ser em litros por planta ($L\ planta^{-1}$).

Os procedimentos de medição manual do dossel das plantas são onerosos e demandam uma quantidade considerável de mão de obra. Neste contexto, pesquisadores têm dedicado ao desenvolvimento de técnicas que tornem esta etapa mais rápida e eficiente. Dentre as técnicas até então pensadas, destaca-se o método de medição automático baseado em sensores de profundidade. Como, por exemplo, nos trabalhos de García et al.(2010); Koch (2010) e Zhao et al.(2011), onde a determinação do dossel de florestas e a caracterização de áreas de cultivo são realizadas.

Comumente, as medidas de volume são realizadas por um sensor de varredura laser acoplados a uma aeronave ou através de imagens de satélites, o que torna o processo inviável financeiramente em certos casos. Daí, vislumbrando a possibilidade de redução dos custos, Van der Zande et al. (2006) introduziram a utilização do *Laser Measurement Systems* (LMS) montado sobre rodas, afinal é comum a existência de uma máquina agrícola em áreas de cultivo. Além disso, tal procedimento possibilita uma proximidade entre o sensor e o objeto de interesse.

O sensor de varredura laser, modelo LMS 111, é um dispositivo de uso geral e de baixo custo utilizado em sistemas anticolisão, de vigilância e acesso monitorado. Trata-se de um dispositivo laser de mensuração eletro-ótico, que fornece o escaneamento do perímetro de uma região em um plano com precisão de milímetros. O LMS mensura o ambiente de forma bidimensional através de coordenadas polares, com uma faixa angular de 270° , resolução mínima de $0,25^\circ$, alcance máximo de 20 m e frequência de amostragem máxima de 50 Hz (FIGURA 1).



Figura 1. Sensor LMS 111. Fonte: SICK AG, (2009).

Segundo Zamahn e Salyani (2004) a coleta de informações à cerca das características do dossel das plantas através da metodologia do sensoriamento remoto, incluindo a metodologia *Light Detection and Ranging* (LIDAR), pode melhorar a interpretação de características das plantas. Desta forma, torna-se uma ferramenta útil para melhorar o planejamento e o gerenciamento das plantas de forma individual dentro de uma lavoura, o que reflete na redução dos custos de produção, conforme destacado em Rosell-Polo et al., 2009.

Neste contexto, objetiva-se com este trabalho avaliar o desempenho do sensor laser, modelo LMS 111, na obtenção de características referentes ao dossel de plantas arbóreas que possibilitem a determinação de seu volume foliar e a comparação com os métodos manuais de Whitney e do esferoide prolato.

Material e métodos

O experimento foi realizado nas dependências do Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, visando comparar os dados obtidos, manualmente, com aqueles obtidos pelo LMS-111.

Primeiramente, uma planta adulta de café foi colocada em vaso de 500 L para a medição do volume foliar do dossel utilizando-se o método manual de Whitney (TUMBO et al., 2002), expresso pela Equação 1.

$$V_w = \frac{\pi}{4} R D_2 A_T \left[1 - \left(\frac{D_E}{A_T} \right)^3 \right] \quad (1)$$

onde

V_w = volume do dossel (m^3);

A_T = altura total do dossel (m);

D_E = distância entre plantas na linha (m);

R = raio máximo do dossel perpendicular à linha da cultura (m); e,

D_2 = diâmetro máximo do dossel paralelo à linha da cultura (m).

Vale comentar que o valor de D_E é igual a zero para plantas individuais.

O segundo método de medição manual utilizado considerou-se o volume do dossel como um esferoide prolato (Equação 2).

$$V_p = \frac{\pi R}{2} \left(\frac{2(A_T - A_M)}{3} + (A_M - A_s) \right) \quad (2)$$

em que

V_p = volume do dossel (m^3);

R = raio máximo do dossel perpendicular à linha da cultura (m);

A_T = altura total do dossel (m);

A_M = altura até o ponto de máximo diâmetro do dossel (m) e,

A_s = altura do solo até a saia da planta (m).

O LMS 111 foi montado em uma ponte tipo trilho deslizante com controle da velocidade, a uma altura de 0,97 m, em relação ao piso, e a uma distância de 1,52 m, em relação às plantas. Além disso, ele foi configurado para uma resolução de 0,5° em sua varredura e para uma transmissão de dados por protocolo Ethernet. A Figura 2 ilustra a montagem do sensor e aponta os principais itens que compõem o experimento.

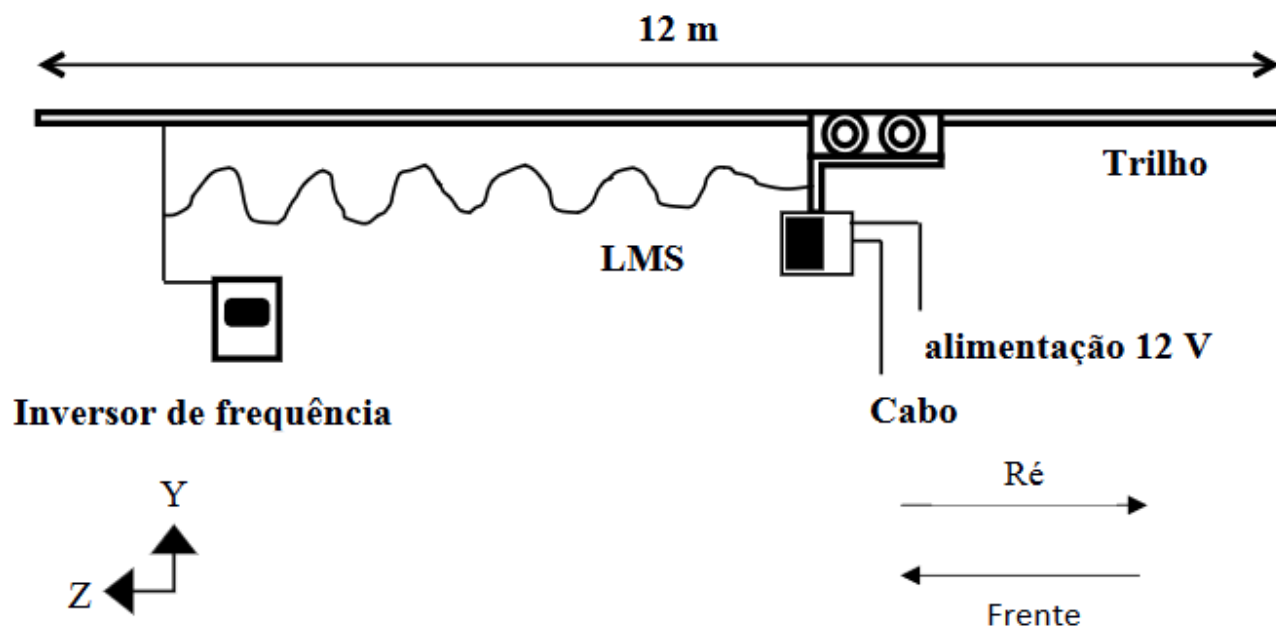


Figura 2. Influência da velocidade de trabalho na representação do dossel foliar de uma planta arbórea (A) na forma de nuvem de pontos da mesma planta nas velocidades de 1 Km/h (B), 3 Km/h (C) e 6 Km/h (D), (Vista Frontal).

Na montagem em questão, o sensor laser desloca-se ao longo do eixo Z e seu controle de velocidade é guiado e monitorado por um sistema composto por um motor elétrico acionado por um inversor de frequência e atuado fisicamente por um sistema de transmissão e redução composto por um conjunto pinhão e cremalheira.

Para efeitos comparativos, o LMS 111 deslocou-se por cinco vezes nas velocidades de 1, 3 e 6 km/h. Esta abordagem de análise foi adotada a fim de realizar o estudo de desempenho do sistema trabalhando em condição controlada, com velocidade constante e percurso predeterminado. Após cada passada (repetição), o perfil do dossel das plantas era criado através da nuvem de pontos recebida durante a leitura do sensor, a qual resultava da interceptação dos feixes laser sobre as folhas da planta.

Vale enfatizar que os dados provenientes do sensor em uma varredura é dado em coordenadas polares, ou seja, existe uma relação entre o ângulo de feixe e a medida de distância associada a ele. A Figura 3 ilustra uma varredura em coordenadas polares e sua conversão para coordenadas Cartesianas. No caso desse trabalho, tal transformação é realizada pelas Equações 3 e 4:

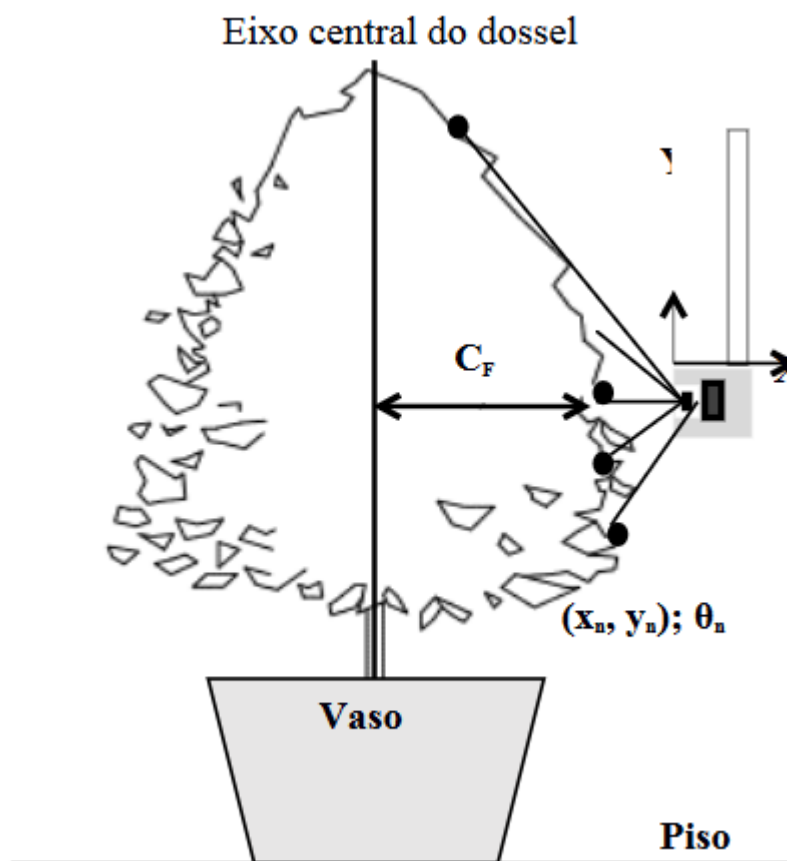


Figura 3. Procedimento de mensuração do LMS (Vista Lateral Esquerda).

$$x_i = D - d_i \sin(\theta_i) \quad (3)$$

$$y_i = A - d_i \cos(\theta_i) \quad (4)$$

onde

x_i = valores de coordenadas x (m);

y_i = valores de coordenadas y (m);

D = distância entre o dispositivo laser e o eixo central do dossel em (m);

A = altura entre o dispositivo laser e o solo (m);

d_i = distância mensurada pelo dispositivo laser em (m); e,

θ_i = ângulo de escaneamento.

Para fins de análises comparativas, os parâmetros obtidos através da mensuração automática com o LMS 111 foram inseridos na Equação (1) e confrontados com os valores obtidos manualmente, utilizando a diferença porcentagem de volume foliar.

Resultados e discussão

Os resultados de volume do dossel utilizando a metodologia de Whitney e a do esferoide Prolato foram, respectivamente, 1,129 m³ e 1,175 m³, para a mesma planta. A razão pela qual o volume do dossel é menor utilizando o método de Whitney é explicado no trabalho de Tumbo et al. (2002). A principal diferença entre os métodos está na adoção dos pontos de referência para a medição do diâmetro. No método de Whitney, utilizam-se os diâmetros paralelo e perpendicular à linha de plantio, enquanto no método de volume prolato, somente a medida paralela é levada em consideração.

A Figura 4 ilustra uma fatia individual da nuvem de pontos gerada com resolução angular de 0,5°, totalizando 541 medidas de distância entre o sensor e os anteparos do ambiente. Vale comentar que quanto menor a resolução angular, maior a fidelidade na reconstrução do ambiente, porém se requiere um maior tempo de processamento em virtude de um maior volume de dados.

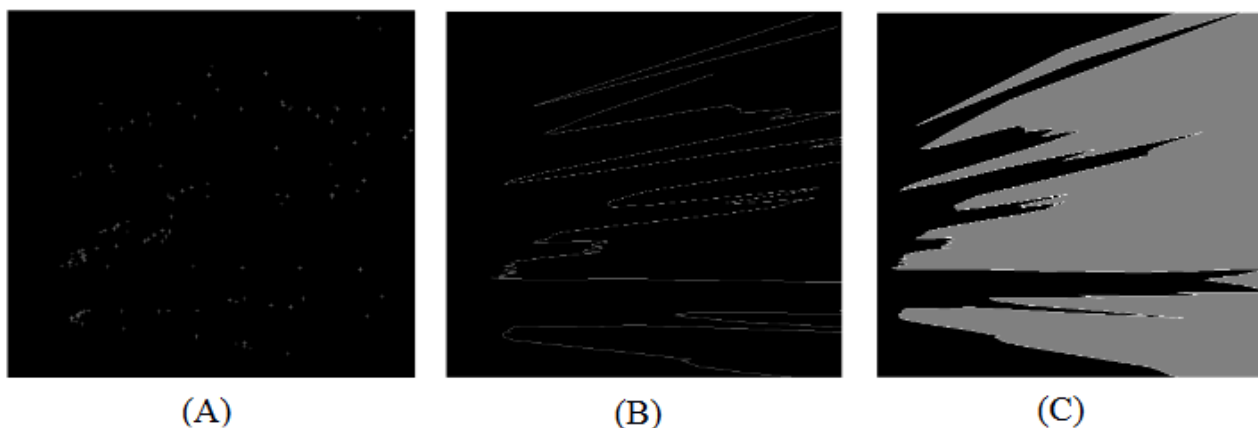


Figura 4. Sequência de confecção do polígono: método para cálculo do volume foliar do dossel de plantas arbóreas. Nuvem de pontos original de uma fatia (A), interligação entre os pontos de uma fatia (B), fatia individual mensurada (C).

A Figura 5 ilustra três representações do dossel foliar de uma mesma planta da café, reconstruído através das medidas do LMS 111 sob diferentes velocidades de deslocamento linear sobre a plataforma ilustrada na Figura 1. Segundo Lee e Ehsani (2009) e verificado aqui experimentalmente, a velocidade de trabalho do dispositivo afeta diretamente a identificação do dossel da cultura, para os olhos menos treinados, e influencia na determinação da largura do dossel (subestimando sua medida real).

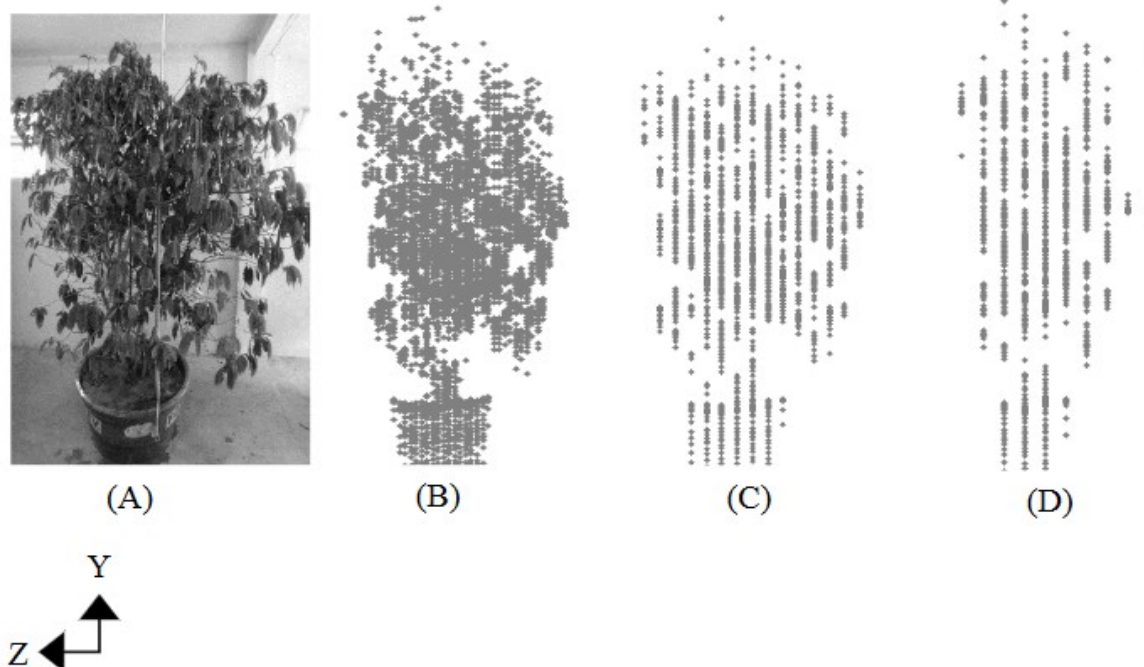


Figura 5. Influência da velocidade de trabalho na representação do dossel foliar de uma mesma planta arbórea, na forma de nuvem de pontos da mesma planta, nas velocidades de 1 (A), 3 (B) e 6 km h^{-1} (C), (Vista Frontal).

Uma análise comparativa da medida dos volumes dos dosséis das plantas em distintas velocidades pode ser vista no TABELA 1. Os métodos manuais de cálculo de volume foliar de Whitney e de volume por esferoide de prolato foram comparados com o método automático obtido pela abordagem LIDAR.

Primeiramente, verifica-se que ao aplicar os dados obtidos pelo LMS 111 nas Equações (1) e (2), as medidas de volume são inferiores àquelas obtidas manualmente, independente da velocidade de translação do sensor na plataforma. Também é possível constatar que a diferença volumétrica do dossel é maior quando se utiliza o método de esferoide prolato em comparação ao método de Whitney, devido à sua menor precisão.

Tabela 1. Diferença percentual entre os volumes medidos manualmente e através do LMS 111 em função da velocidade de trabalho.

| Velocidade (km/h) | Abordagem adotada para medição do volume foliar (m ³) | | | Diferença percentual entre métodos automático e manual | |
|----------------------|--|----------------|----------------|---|----------------|
| | LIDAR (L) | Whitney (W) | Prolato (P) | (L-W)/L [%] | (L-P)/P [%] |
| 1 | 0,94 | 0,813 | 0,951 | -10,73 | -16,60 |
| 3 | 1,06 | 1,129 | 1,175 | -5,86 | -9,55 |
| 6 | 0,65 | 0,725 | 0,921 | -42,08 | -44,35 |

Apesar de a velocidade de 1 km/h ser aquela que melhor representou o dossel da planta arbórea através da nuvem de pontos, sabe-se que esta não é a velocidade comumente utilizada na maioria das operações agrícolas. No caso em questão, as diferenças percentuais entre o volume obtido manualmente e do LMS foram, respectivamente, de 10,7 e 16,6 %.

Quando se trabalhou na velocidade de 3 km/h, as diferenças entre os volumes medidos manualmente e o LMS foram de 5,8% e 9,5%. Vale destacar que esta é uma velocidade muito empregada em operações agrícolas e, portanto, pode ser adotada para obtenção das características do dossel de plantas arbóreas.

Por fim, observando-se, tanto a Figura 4, quanto o TABELA 1, conclui-se que o LMS operando-se a uma velocidade de translação de 6 km/h não é ideal para uma caracterização fiel do dossel das plantas arbóreas. A discrepância superior a 40% se explica pela passagem rápido do sensor em frente a planta, impossibilitando sua caracterização.

Conclusões

O LMS 111 é um sensor a laser baseado na metodologia LIDAR, que pode ser utilizado na obtenção automática de dados de distância entre a fonte (sensor) e um anteparo (objetivo), a fim de se determinar o volume do dossel de plantas arbóreas.

Através de validações experimentais, verificou-se que, dentre as velocidades testadas, a de 3 km/h mostrou-se a ideal.

Velocidades iguais ou superiores a 6 km/h não se aplicam satisfatoriamente para a determinação do volume de dossel de plantas arbóreas, pois sua caracterização fica debilitada pela carência de pontos representativos do cultivo.

Agradecimentos

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo, e ao CNPq, pela aprovação de auxílio financeiro (Processo nº487442/2012-1).

Referências bibliográficas

- GARCÍA, M.; RIAÑO, D.; CHUVIECO, E.; DANSOND, F. Estimating bioma ss carbono stocks for a Mediterranean forest in central Spain using LiDAR height and intensity data. **Remote Sensing of Environment**. n.114, p. 816 –830. 2010.
- KOCH, B. Status and future of laser scanning, synthetic aperture radar and hyperspectral remote sensing data for forest biomass assessment. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. p. 581–590. 2010.
- LEE, K.; R. EHSANI. A laser-scanning system for quantification of tree-geometric characteristics. **Applied Engineering in Agriculture**. n. 25, vol 5, p. 777-788. 2009.
- ROSELL-POLO, J.R.R.; SANZ-CORTIELLA, R.; LLORENS, J.; ARNO, J.; ESCOLA, A.; RIBES-DASI, P.; MASIP, J.; CAMP, F.; GRACIA, F.; SOLANELLES, F.; PALLEJA, T.; PAL, L.; PLANAS, S.; GIL, E.; PALACIN, J. A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: A comparison with conventional destructive measurements. **Biosystems Engineering**. v. 102. p. 128-134. 2009.
- TUMBO, S. D.; SALYANI M.; WHITNEY, J. D.; WHEATON T. A.; W. MILLER, M. Investigation of laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume. **Applied Engineering in Agriculture**. v. 18. p. 367-372. 2002.
- VAN DER ZANDE, D.; HOET, W.; JONCKHEERE, I.; VAN AARDT, J.; COPPIN, P. Influence of measurement set-up of ground-based LIDAR for derivation of tree structure. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 141, n. 2–4, p.147–160. 2006.
- ZAMAN, Q.U.; SALYANI, M. Effects of foliage density and ground speed on ultrasonic measurement of citrus tree volume. **Applied Engineering in Agriculture**. v. 20, n.2, p. 173–178. 2004.
- ZHAO, K.; POPESCU, S.; MENG, X.; PANG, Y.; AGCA, M. Characterizing forest canopy structure with lidar composite metrics and machine learning. n.115, p. 1978–1996. 2011.

Recebido em 30/10/2018

Aceito em 04/01/2019