

Luciano Teixeira de Oliveira¹, Luis Marcelo Tavares de Carvalho¹, Maria Zélia Ferreira², Thomaz Chaves de Andrade Oliveira¹, Vanessa Thaís Felipe Pimentel Batista¹

INFLUÊNCIA DA IDADE NA CONTAGEM DE ÁRVORES DE *Eucalyptus* sp. COM DADOS DE LIDAR

Palavras chave:
Inventário florestal
LIDAR
Detecção de árvores
Local máxima

Histórico:
Recebido 27/10/2011
Aceito 29/04/2014

Keywords:
Forest inventory
LIDAR
Individual-tree detection
Local maxima

Correspondência:
oliveiralt@hotmail.com

RESUMO: O presente trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a influência da idade na detecção automática de árvores em talhões de *Eucalyptus* sp. por meio de dados LIDAR. Foram analisados 3 talhões com as idades de 3, 5, e 7 anos. Esses talhões tiveram os dados da nuvem de pontos do LIDAR referentes ao primeiro retorno, divididos em dois estratos verticais, o que gerou duas classes: Classe 1 (nuvem de pontos para toda a vegetação) e Classe 2 (nuvem de pontos para a vegetação acima de 10 metros). Os resultados da detecção do número de fustes para as duas classes foram comparados com o censo da área por meio de contagem visual em uma imagem de alta resolução espacial e com dados de inventário florestal. Na comparação com o censo, encontrou-se pouca diferença entre as idades para o número de fustes para a Classe 1, sendo mais indicado para as idades de 3 e 5 anos e a Classe 2, apesar de se observar uma tendência de subestimativa dos valores, é mais indicada para a idade de 7 anos. Quando se comparou com os dados do inventário florestal, observou-se uma coerência entre o número de fustes nos dois estratos verticais, desta forma o método proposto mostrou-se compatível com o inventário florestal para a intensidade amostral testada, para a obtenção da variável número de fustes.

INFLUENCE OF *Eucalyptus* sp. STAND AGE ON TREE COUNTING WITH LIDAR DATA

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the influence of stand age on the automatic detection of *Eucalyptus* sp. trees using LIDAR datasets. Three different stands 3, 5 and 7 years old were analyzed. The LIDAR cloud point data of the first return was split into two datasets: Class 1 (points for all vegetation), Class 2 (points for vegetation above 10m). Results for obtaining the number of stems for each dataset were compared to the census of the area, which was done by visual interpretation using an auxiliary high spatial resolution remote sensing image, and to forest inventory estimates. In comparison to the census data, tree counting using Class 1 dataset agreed well for all considered ages, with best results achieved in 3 and 5 year old stands. On the other hand, Class 2 biased toward underestimated values. The best results for this class were verified in 7 year old stands. When compared to the forest inventory data, this methodology proved to be more efficient. The number of stems derived from the forest inventory was biased towards overestimation. In order to achieve better estimates using forest inventory data, an intensification of the sampling procedure would be necessary.

INTRODUÇÃO

Atualmente, nosso país é um dos grandes exportadores de produtos de base florestal no mundo, principalmente celulose, madeira, móveis e carvão vegetal. No custo desses produtos, estão embutidos os custos do planejamento, inventário florestal, assim como as atividades de colheita e transporte florestal.

Segundo Diniz (2007), a movimentação de máquinas, equipes de colheita e transporte florestal, assim como equipe de silvicultura, é definida por meio das informações de produtividade de cada povoamento florestal. Para se definir a produtividade do povoamento, é utilizado o inventário florestal, em que povoamentos são amostrados de forma representativa, por meio de uma boa intensidade amostral, o que possibilita estimar o volume e outras variáveis com a precisão desejada e custo que viabilize a produção (SCOLFORO; MELLO, 2006).

Também utiliza-se o inventário florestal para se estimar o número total de árvores de um plantio (MELLO et al., 2009), pois, apesar de a maioria das florestas comerciais terem sido plantadas pela própria empresa, o número de árvores plantadas não é conhecido com exatidão. Por isso, mesmo sendo calculado o volume de madeira de cada árvore da parcela, só é possível estimar o volume do povoamento extrapolando-se o volume total de madeira das parcelas para a área de plantio.

Se fosse conhecido o número de árvores dos povoamentos, o volume médio das árvores das parcelas poderia ser extrapolado pelo número total de árvores. Isso diminuiria o erro do inventário e poderia, até mesmo, reduzir a intensidade amostral necessária para o pré-corte, etapa onerosa e indispensável nos meses anteriores à colheita.

No Brasil, o Inventário Florestal Contínuo é uma das formas de inventário mais utilizadas para acompanhar o crescimento da floresta. Contudo, tem-se observado que alguns erros podem estar associados aos inventários convencionais, tais como viés na mensuração de diâmetros e de alturas, erro na manipulação dos dados, erro na medição de área das parcelas e, principalmente, erros associados ao procedimento de amostragem, que variam em relação à variável dendrométrica analisada, sendo maior para a variável “número de árvores por hectare”. Esses erros levam à diminuição da qualidade dos dados obtidos, refletindo na imprecisão dos modelos de crescimento e produção e, conseqüentemente, no planejamento, e só podem ser resolvidos se for realizado o censo na área.

Visando a minimizar esses erros, a utilização de sensores remotos muito tem contribuído para melhorar o conhecimento do tamanho e forma do plantio, por meio da geração de mapas, assim como a estratificação dos povoamentos pelo uso de imagens de alta resolução (OLIVEIRA, 2006; SOUZA et al., 2007) advindas de sensores passivos (CROSTA, 1992; JENSEN, 2009; LILLESSAND; KIEFER, 2000). Uma limitação desses sensores, porém, é a presença de nuvens sobre a área de interesse que, em determinadas regiões, são uma constante e inviabilizam o seu uso.

Para esses casos, a tecnologia desenvolvida com sensores ativos (CROSTA, 1992; JENSEN, 2009; LILLESSAND; KIEFER, 2000), tais como o RADAR e o LIDAR, pode ser empregada. Esses sensores conseguem imagear mesmo com a presença de nuvens, sendo muito utilizados na quantificação de biomassa, já que também conseguem penetrar no estrato arbóreo até atingir o solo (JENSEN, 2009).

Na América do Norte e na Escandinávia, essa tecnologia tem suas aplicações consolidadas para a quantificação de biomassa em extensas áreas, tendo um valor aproximado de 5 U\$·ha⁻¹ (RODRIGUEZ et al., 2010). Várias linhas de pesquisa para estimar parâmetros de parcelas, contagem de árvores individuais, quantificação do estoque florestal, biomassa e para a diminuição da intensidade amostral vêm sendo desenvolvidas, podendo-se destacar trabalhos de Crow et al. (2007), Heurich e Thoma (2008), Ioki et al. (2010), Jupp et al. (2009), Lauri et al. (2008), Maltamo et al. (2004), Naesset e Bjercknes (2001), Popescu et al. (2002), Sasaki et al. (2008), Tiede et al. (2005) e Yu et al. (2004). No Brasil, essa linha de pesquisa é bem recente, em razão do custo para a aquisição dessas informações e também por apenas algumas empresas manusearem esse equipamento em aeronaves. Mesmo assim, podem-se destacar os trabalhos de Castro e Centeno (2005), Lingnau e Nakajima (2008), Macedo (2009), Oliveira et al. (2012), Rodriguez et al. (2010), Zonete (2009) e Zonete et al. (2010).

Diante do exposto, foi realizado um estudo para determinar qual a melhor idade para se realizar um voo com LIDAR e, utilizando esses dados, realizar um censo da área em questão, conforme sugerido por Oliveira et al. (2012). Especificamente, buscou-se: gerar um método para a contagem de árvores em plantios de *Eucalyptus* sp. no espaçamento 4 x 3 m, com 3 anos e no espaçamento 5 x 2,40 m, com 5 e 7 anos de idade; testar dois estratos verticais advindos das informações LIDAR, interpolados com a Inverse Distance Weighted

Interpolation (IDW), para a contagem de árvores, em plantios de *Eucalyptus* sp. com espaçamento 4 x 3 m, com 3 anos e no espaçamento 5 x 2,4 m, com 5 e 7 anos de idade; avaliar qual dos estratos verticais é mais recomendado para ser aplicado nas diferentes idades; e comparar os resultados obtidos pelo método proposto com os gerados por meio do inventário florestal.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo está situada no extremo sul do estado da Bahia, entre as coordenadas 16°04'S; 39°28'O e 16°08'S; 39°20'O (Figura 1). O clima da região, segundo Koppen, é Tropical Equatorial, com chuvas distribuídas durante o ano inteiro e média anual de 1.200 mm. A temperatura média é de 24°C com pequena amplitude, por se tratar de uma região costeira. As áreas estudadas compreendem plantios comerciais de *Eucalyptus* sp., nos quais foram selecionados talhões com 3, 5 e 7 anos, na época do voo, sendo que o talhão com 3 anos tinha o espaçamento 4 x 3 m e os demais talhões tinham o espaçamento de 5 x 2,4 m.

As idades 3, 5 e 7 anos foram as escolhidas porque é nelas que ocorre a grande maioria dos inventários florestais contínuos (KANEGAE JÚNIOR et al., 2006; OLIVEIRA, 2006; PELLICO NETTO; BRENA, 1997; SCOLFORO; MELLO, 2006). Para a determinação do número de fustes nos talhões por meio de contagem visual foi utilizada uma imagem Quickbird de 09/04/2007, a qual estava fusionada com resolução espacial de 60 cm e utilizando uma composição colorida de cor real, conforme pode ser observado na Figura 1. Na contagem visual, um intérprete experiente fez a contagem de todas as árvores, as quais eram marcadas após a sua quantificação.

Os talhões foram inventariados com parcelas circulares de 530,93 m², com o centro georreferenciado com DGPS, distribuídas aleatoriamente em uma suficiência amostral de 4 parcelas por talhão. Na Tabela 1, observa-se o número de árvores encontradas em cada parcela. Para se definir o número estimado de árvores no talhão, foram consideradas as árvores bifurcadas como duas, descontando-se o número de falhas e árvores mortas por parcela.

Para se obter o número de árvores por talhão, multiplicou-se o somatório de árvores encontradas nas parcelas de cada talhão pelo fator de proporcionalidade de área encontrado para cada talhão (PELLICO NETO; BRENA, 1997). Na Tabela 2, são apresentadas as

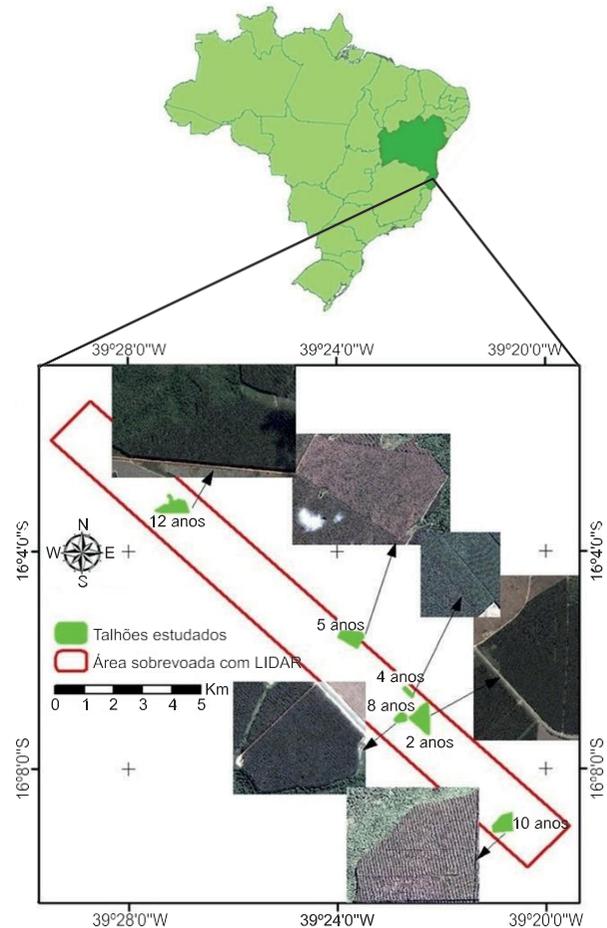


FIGURA 1 Localização geográfica dos talhões escaneados com o LIDAR.

FIGURE 1 Geographical location of LIDAR scanned stands.

TABELA 1 Número de indivíduos de cada idade por parcela, obtidos no inventário florestal.

TABLE 1 Number individuals of each age per plot obtained from the forest inventory.

Parcela	Número de árvores por idade		
	3 anos	5 anos	7 anos
1	45	46	39
2	44	42	43
3	47	45	43
4	42	45	47

estatísticas para o número de indivíduos por hectare e, na Tabela 3, os valores do intervalo de confiança. Na Tabela 2, pode ainda ser observada uma diferença entre a área existente no cadastro da empresa e a área encontrada pelo LIDAR.

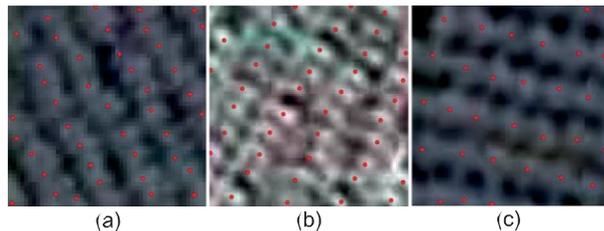
A determinação do número de árvores por meio de contagem visual para cada idade é apresentada na Figura 2.

TABELA 2 Estatísticas encontradas para a determinação do número de árvores por talhão.**TABLE 2** Calculated statistics for the number of stems per stand.

Idade (ano)	3	5	7
Média (nº de arvores)	44,5	44,5	43
Variância	4,3	3	10,7
Fator de área	409,00	555,83	443,52
Fator de correção	0,9902	0,9928	0,9910
Erro padrão	1,0	0,9	1,6
Erro do inventário (%)	3,3	2,7	5,2
Número de árvores por ha	838,1519	838,1519	809,8996
Área talhão (ha)	21,7	29,5	23,5
Área parcela (m ²)	530,9	530,9	530,9
Área talhão (LIDAR) (ha)	22,1	29,9	24,7

TABELA 3 Número de árvores por talhão e o respectivo intervalo de confiança.**TABLE 3** Number of stems per stand and its respective confidence interval.

Idade (ano)	Intervalo de confiança			Contagem visual
	Valor inferior	Valor médio	Valor superior	
3	16.852	18.200	19.548	17.495
5	23.208	24.734	26.260	23.150
7	16.777	19.071	21.365	18.090

**FIGURA 2** Contagem visual dos fustes nos talhões (pontos vermelhos) para as idades de (a) 7 anos, (b) 5 anos e (c) 3 anos.**FIGURE 2** Visual counting of stems procedure in stands (red point indicates each stem, for the ages of (a) 7 years (b) 5 years and (c) 3 years).

Aquisição dos dados do LIDAR e pré-processamento

Os dados do LIDAR foram coletados entre os dias 5 e 9 de setembro de 2008, utilizando-se o sistema ALTM 3100 acoplado a um avião bimotor Piper Seneca II. O voo foi realizado à velocidade de 150 km·h⁻¹, altura de 1.000 m, diâmetro do feixe de 20 cm, divergência do feixe de 0,3 mrad, ângulo de varredura de 15°, frequência

de varredura de 58,7 Hz e intensidade de 1,5 pontos por metro quadrado. O erro planimétrico foi de 0,5 m (1,0 sigma), o altimétrico de 0,15 m (1,0 sigma) e a área de cobertura do laser foi de 0,32 m.

Os dados dos sinais do LIDAR referentes às áreas dos talhões foram organizados balizados nas informações das coordenadas latitude, longitude, altitude (x, y, z), retornos (1°, 2° e 3° pulso) e intensidade do sinal. Todos esses fatores podem influenciar a densidade de pontos da nuvem resultante, que pode variar de 0,5 a 5 pontos por metro quadrado. A precisão do scanner do laser é da ordem de aproximadamente 15 cm (CROW et al., 2007).

Após a estruturação das informações, analisou-se a rota de voo da aeronave, a fim de separar os pontos que estavam sobrepostos, por meio do cruzamento das informações de voo e do tempo de aquisição dos pulsos gerados e armazenados do LIDAR. As informações de sobreposição não foram consideradas neste estudo, pois se observou maior concentração de ruído sobre essas áreas. Isso, provavelmente, ocorreu em decorrência do deslocamento do dossel por influência do vento nas diferentes passagens da aeronave (OLIVEIRA et al., 2012).

Processamento dos dados LIDAR

Os dados foram processados segundo o método proposto por Oliveira et al. (2012), sendo utilizadas na primeira classe apenas as informações referentes ao primeiro pulso da vegetação e, na segunda classe, todas as informações referentes ao primeiro pulso da vegetação acima de 10 m de altura.

Nessa etapa, separaram-se as informações da nuvem de pontos em modelos de terreno (MDT) e modelos de superfície (MDS). Para isso, utilizaram-se regras de lógica binária, avaliando as informações de pulso, altitude, angulação vertical e horizontal entre os pontos vizinhos com o desvio padrão das altitudes de cada pulso. A nuvem de pontos pode ser avaliada em três dimensões, renderizadas na forma da Figura 3. Na Figura 3a, pode ser observada a renderização para a classe com toda vegetação (cor cinza e amarelo) e, na Figura 3b, a mesma classe em duas dimensões. Nas Figuras 3c e 3d, a mesma área, porém, sem a influência da vegetação abaixo de 10 m (classe vegetação acima de 10 m), podendo ser visualizado de melhor forma o solo e a vegetação acima de 10 m.

Com a diferença do MDT e MDS, gerou-se a informação de altura para todos os pontos em relação ao solo. Concomitantemente, foi gerada a classificação da nuvem de pontos em: solo (pontos com apenas

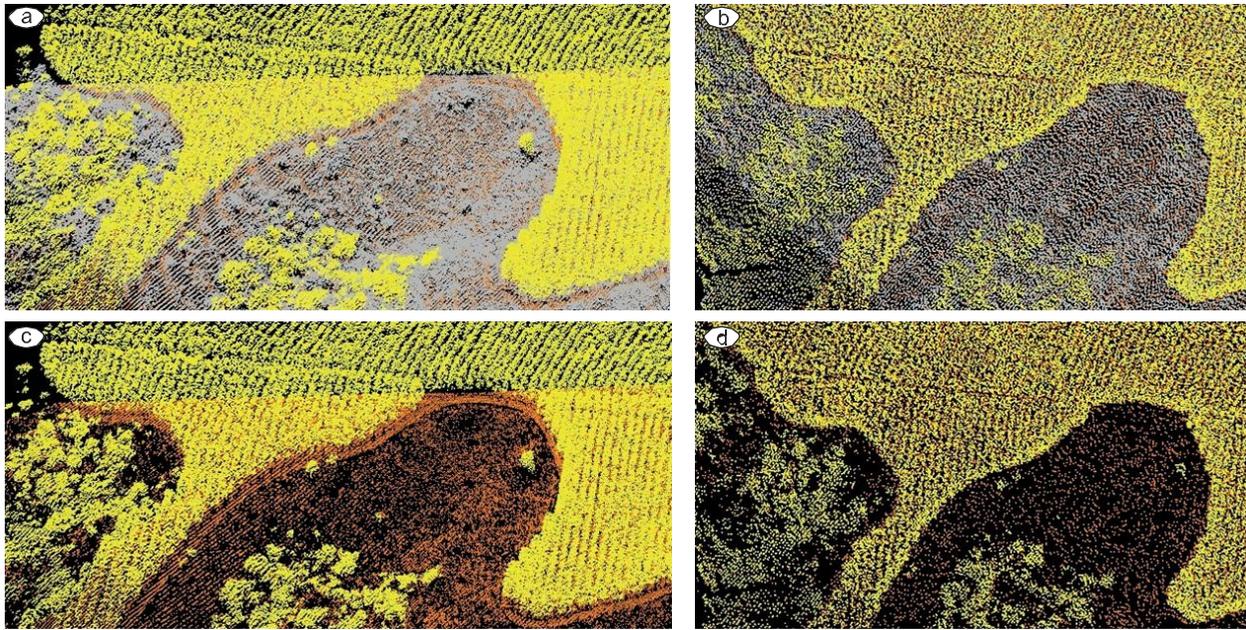


FIGURA 3 Nuvem de pontos 3D do LIDAR renderizadas, originadas do povoamento de *Eucalyptus* sp, com 5 anos: (a) classe contendo toda vegetação (renderizada), (b) mesma classe em duas dimensões, (c) classe contendo vegetação acima de 10 metros (renderizada) e (d) mesma classe em duas dimensões.

FIGURE 3 3D LIDAR cloud point render, data from of a 5 year old *Eucalyptus* sp. population: (a) all vegetation class (rendered), (b) same class in 2D (c) Class containing vegetation above 10m.

um retorno e últimos retornos dos demais pontos, os quais interagem com uma angulação plana de 8° e uma angulação vertical de 88° por meio de triangulação com os pontos vizinhos, até um máximo de 8 desvios padrões); vegetação (todos os pontos referentes ao primeiro pulso, não considerados como solo); e vegetação acima de 10 metros (todos os pontos referentes à classe Vegetação acima de 10 metros do solo).

Essa divisão pode ser observada no perfil vertical da nuvem de pontos (Figura 4), em que podem ser avaliados o efeito das classes para as diversas idades nos talhões estudados e a altura média de cada talhão.

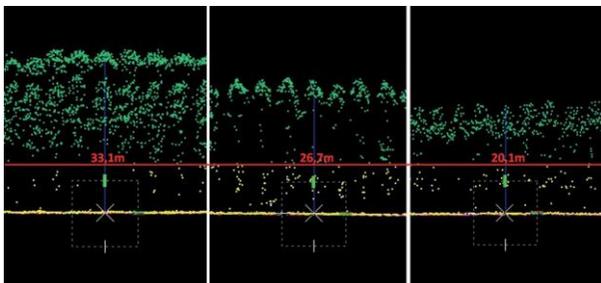


FIGURA 4 Perfil do povoamento de *Eucalyptus* sp. na nuvem de pontos obtidas pelo LIDAR nas diferentes idades, sendo (a) 7 anos, (b) 5 anos e (c) 3 anos.

FIGURE 4 *Eucalyptus* sp. population profile in the LIDAR cloud point obtained from different ages of (a) 7 years, (b) 5 years and, (c) 3 years.

A informação de altura, existente no primeiro pulso, foi utilizada para todas as classes em que se aplicou o interpolador Inverse Distance Weighted Interpolation (IDW) (BURROGH; MCDONNELL, 1998). Esse interpolador foi utilizado em razão dos resultados positivos observados em Oliveira et al. (2012).

Depois de se converter as informações para o formato raster, aplicou-se um filtro de máxima local (CARVALHO, 2001, 2008; OLIVEIRA et al., 2012). Esse método identifica os locais de máxima intensidade de brilho da imagem em bandas individuais, por meio de uma máscara (DISPERATI; OLIVEIRA FILHO, 2005; WULDER et al., 2000). Nesse caso, as áreas mais brilhantes referem-se às áreas mais altas das copas.

No algoritmo de máxima local, utilizou-se uma janela móvel de 5×5 , a qual foi indicada como mais adequada em plantios com espaçamento 4×3 m, no trabalho de Oliveira et al. (2012). Esse procedimento foi repetido para todos os talhões analisados, conforme seqüências de processos da Figura 5. Dessa forma, puderam ser contabilizadas todas as árvores existentes nos três talhões analisados. Esse resultado foi comparado com a estimativa das parcelas do inventário (Tabela 3) e esses dois métodos foram confrontados com as informações obtidas por meio de contagem visual de uma imagem Quickbird de 09/04/2007 (Figura 5), com os valores descritos na Tabela 3.

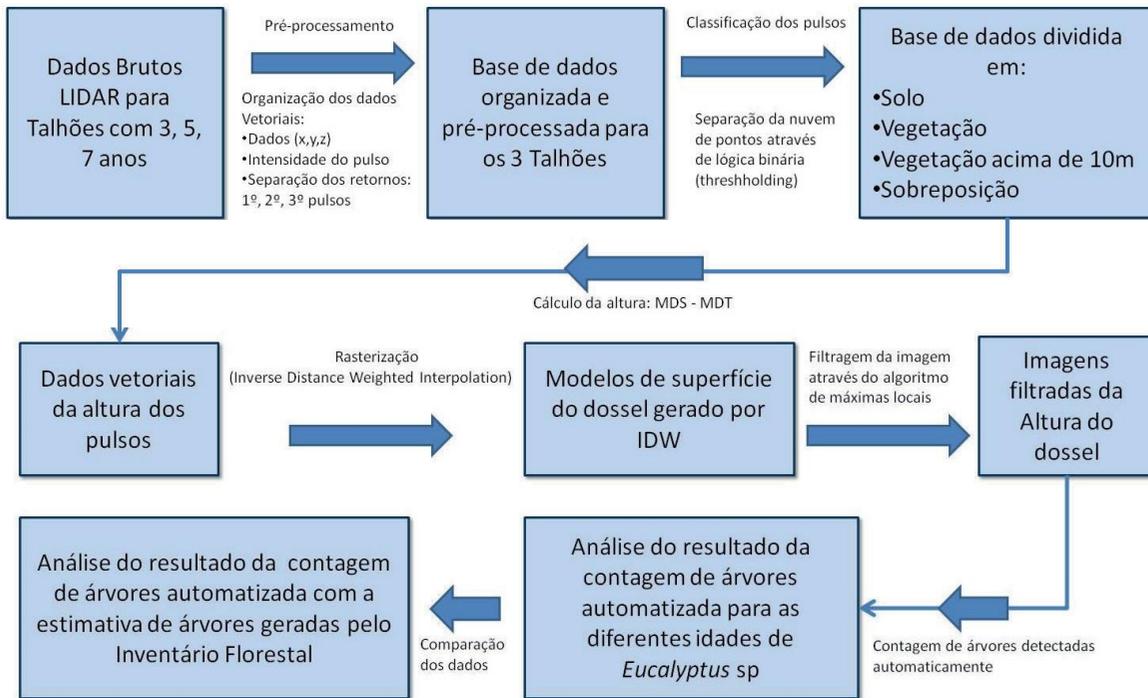


FIGURA 5 Esquema de passos para a execução do método de contagem de árvores para os talhões.

FIGURE 5 Flowchart of executed tree count procedures on the stands.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As informações obtidas pela detecção dos fustes utilizando-se o filtro 5 x 5 para toda a vegetação (Tabela 4) e para a vegetação acima de 10 m (Tabela 5) foram confrontadas com o valor obtido por meio da contagem visual. Observou-se que a detecção teve um bom desempenho para todas as classes, quando comparada com o valor real. (Tabelas 4 e 5). O valor do erro manteve-se baixo, corroborando com a avaliação feita por Oliveira et al. (2012), que obteve um acerto superior a 96% para o número de fustes utilizando esta mesma técnica para *Eucalyptus* sp. com 3 anos de idade, além de outros trabalhos, como os de Maltamo et al. (2004), McCombs et al. (2003) e Zadóna et al. (2008).

De maneira geral, a detecção automática utilizando o filtro 5 x 5 para a classe contendo todos os pontos referentes à vegetação tendeu a detectar menos árvores do que a contagem visual para o espaçamento 4 x 3 m e mais árvores para o espaçamento 5 x 2,40 m. A maior diferença foi encontrada para a floresta de 7 anos (-8,90%) e a menor, para a floresta de 5 anos (-0,79%), tendo um valor ainda baixo na idade de 3 anos (1,15%). Nesse sentido, como o erro observado foi baixo para todas as classes e idades, pode-se dizer que a idade da floresta não influencia a contagem de árvores utilizando o LIDAR. Não foi possível fazer um teste de significância, já

que as análises se baseiam na enumeração completa dos indivíduos. Assim, os melhores resultados foram obtidos em idades mais jovens, como observado para a idade de 3 e 5 anos.

TABELA 4 Detecção de árvores pelo algoritmo de máxima local, filtro 5 x 5 para os 3 talhões estudados (Classe Vegetação).

TABLE 4 Single tree detection by the local maxima algorithm with a 5 x 5 filter for the 3 studied stands (Class Vegetation).

Idade (ano)	Contagem visual	Detecção automática	Erro (Nº árvores)	Erro (%)
3	17.495	17.293	202	1,15
5	23.150	23.333	-183	-0,79
7	18.090	19.700	-1.610	-8,90

TABELA 5 Detecção de árvores pelo algoritmo de máxima local, filtro 5 x 5 para os 3 talhões estudados (Classe Vegetação acima de 10 metros).

TABLE 5 Single tree detection by the local maxima algorithm with a 5 x 5 filter for the 3 studied stands (Class Vegetation above 10 meters).

Idade (ano)	Contagem visual	Detecção automática	Erro (Nº árvores)	Erro (%)
3	17.495	16.957	538	3,08
5	23.150	21.690	1.460	6,31
7	18.090	18.337	-247	-1,37

Já para a detecção utilizando o mesmo filtro na classe de vegetação acima de 10 m, observou-se que a tendência de subestimativa aumentou (Tabela 5) para plantios com 3 anos (3,08%) no espaçamento 4 x 3. Isso pode ter ocorrido em decorrência de que as árvores bifurcadas tenham sido consideradas como uma apenas no momento da interpolação ou, ainda, pelo fato de árvores suprimidas não terem sido contabilizadas. Todavia, quando se analisam os plantios com 5 e 7 anos de idade no espaçamento 5 x 2,40, observa-se, na Tabela 5, que também houve uma tendência de subestimativa, quando comparado com a Tabela 4, o qual gerou um maior erro para a idade de 5 (6,31%) e uma redução no erro para a idade de 7 anos (-1,37%).

Esse resultado indica que, para a contagem automática de fuste utilizando o algoritmo de máximas locais com o filtro 5 x 5 em um espaçamento 4 x 3 m, é mais adequado utilizar todas as informações dos pontos da vegetação. Já no espaçamento 5 x 2,40 m é mais adequado utilizar o filtro 5 x 5 apenas nas idades mais jovens e, para toda a vegetação e nas idades de pré-corte, é mais indicado utilizar as informações dos pontos da vegetação acima de 10 m.

Na Figura 6, está ilustrada a detecção dos pontos para as diferentes idades em cada talhão, nas duas classes estudadas.

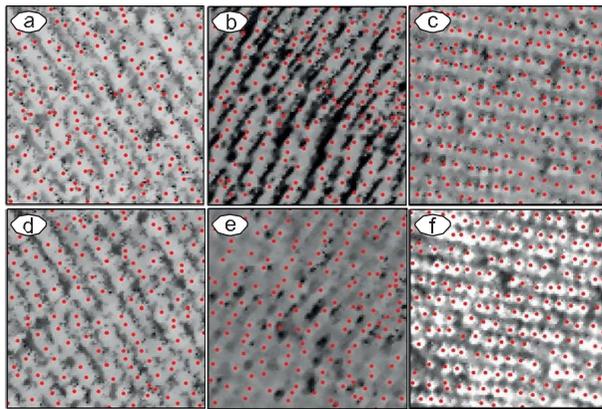


FIGURA 6 Resultados da contagem para os dados da classe vegetação para os talhões com: (a) 7 anos, (b) 5 anos, (c) 3 anos, e a mesma sequência para contagem usando os dados da classe de vegetação acima de 10 m (d) a (f).

FIGURE 6 Single tree detection and counting on the vegetation dataset for stands with ages of: (a) 7 years (b) 5 years (c) 3 years, and the same sequence for the vegetation above 10m dataset (d) to (f).

Ao se comparar as informações da contagem visual com as informações do inventário fl (Tabela 6),

observou-se um erro compatível com o método proposto (Tabela 7), estando o número de árvores existentes nos talhões com 3 e 7 anos dentro do intervalo confiança estabelecido pelo inventário florestal nas duas classes analisadas (Tabela 3). Todavia, observou-se uma variação na idade de 5 anos de, aproximadamente, 1,8% para menos na contagem visual, estando fora do intervalo de confiança do Inventário Florestal a 95%. Também houve a detecção, para a Classe 2, de uma maior subestimativa, o que evidencia que, para idades mais jovens no espaçamento 5 x 2,40 m, é melhor utilizar a Classe 1, a qual ficou mais próxima do valor real e dentro do intervalo de confiança do inventário. Essa subestimativa, na idade de 5 anos, pode ter sido decorrente do fato de árvores suprimidas não terem sido contabilizadas ou duas árvores terem sido contabilizadas como uma na Classe 2 e na contagem visual, já que nesse talhão houve maior dificuldade para determinar o número de árvores, decorrente da situação do espaçamento combinado com a ação do vento.

TABELA 6 Estimativa gerada pelo inventário florestal, para a variável número de fustes nas diferentes idades dos talhões estudados.

TABLE 6 Estimate generated by the forest inventory for the variable number of stems on different ages in the studied stands.

Idade (ano)	Contagem visual	Inventário florestal	Erro (N° árvores)	Erro (%)
3	17.495	18.200	-705	- 4,03
5	23.150	24.734	-1.584	- 6,84
7	18.090	18.986	-896	- 4,96

TABELA 7 Valores de erro percentual, encontrados na avaliação da método proposta e para o inventário florestal, comparado com o valor real encontrado através da contagem visual.

TABLE 7 Percentage error values, encountered in evaluation of the proposed methodology and forest inventory, compared to the actual value found by visual counting procedure.

Idade (ano)	Inventário florestal	Erro (%)	
		Detecção automática	
		Classe 1 (vegetação Total)	Classe 2 (vegetação acima de 10 m)
3	- 4,03	1,15	3,08
5	- 6,84	-0,79	6,31
7	-4,96	-8,90	-1,37

Quando se compara o Inventário Florestal com o método proposto, observa-se que os valores nos números de fustes encontrados pelo método proposto nas idades de 3 e 5 anos (Classe 1) estão mais próximos da realidade, o que também foi observado por Oliveira et al. (2012). O mesmo autor também destaca que, quando se estratifica verticalmente a vegetação, a subestimativa aumenta, o que aconteceu quando se analisou a classe de vegetação acima de 10 m (Classe 2). Todavia, quando se avalia a classe 2 para idade de 7 anos, idade em que, geralmente, pode ocorrer o pré-corte, o erro se torna inferior, o que pode gerar melhores resultados que a Classe 1.

Cabe ressaltar que, além da informação do número de árvores, existe também a informação da altura para cada árvore, outra variável de difícil obtenção em campo e que tem sua estimativa gerada por modelos hipsométricos. Além disso, podem-se aferir as áreas existentes no cadastro da empresa, já que foi verificada diferença de áreas entre o cadastro e a informação obtida pelo LIDAR (Tabela 2), podendo-se considerar esta última mais confiável.

Apesar dos bons resultados, é prudente observar que mais testes devem ser feitos, utilizando-se todas as idades no mesmo espaçamento e testar outros espaçamentos para se avaliar o resultado, realizando a contagem dos indivíduos em campo, já que, para o espaçamento 5 x 2,40 m, notou-se uma maior dificuldade para proceder à contagem visual.

CONCLUSÕES

O método proposto para a contagem de árvores, utilizando um filtro 5 x 5, pode ser aplicado para as idades de 3, 5 e 7 anos, em plantios de *Eucalyptus* sp., nos espaçamentos 4 x 3 m e 5 x 2,40 m.

Não houve diferença entre os dois estratos verticais (Classe 1 e 2) advindos das informações LIDAR interpolados com a Inverse Distance Weighted Interpolation (IDW) para a contagem de árvores em plantios de *Eucalyptus* sp. com espaçamento 4 x 3 m, com 3 anos de idade e no espaçamento 5 x 2,40 m, com 5 e 7 anos de idade.

A Classe 1 (informação dos pontos do primeiro pulso para toda a vegetação) é a mais indicada para as idades de 3 e 5 anos e a Classe 2 (vegetação acima de 10 m) é a mais indicada para ser utilizada na idade pré-corte (7 anos).

O método proposto mostrou-se compatível com o inventário florestal para a intensidade amostral testada, para a obtenção da variável número de fustes.

REFERÊNCIAS

- BURROGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University, 1998. 333 p.
- CARVALHO, L. M. T. **Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento da flora nativa 2005-2007**. Lavras: UFLA, 2008. 357 p.
- CARVALHO, L. M. T. **Mapping and monitoring forest remnants: a multi-scale analysis of spatio-temporal data**. 2001. 140 p. Thesis (Ph.D. in Environment and Geosciences) - Wageningen University, Wageningen, 2001.
- CASTRO, F. C.; CENTENO, T. M. Segmentação de imagens geradas por perfilamento a laser para delimitação de árvores individuais em uma área de reflorestamento de eucaliptos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 2005. p. 737-744.
- CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992. 170 p.
- CROW, P.; BENHAM, S.; DEVEREUX, B. J.; AMABLE, G. S. Woodland vegetation and its implications for archaeological survey using LiDAR. **Forestry**, Cary, v. 80, n. 3, p. 241-252, 2007.
- DINIZ, F. S. **Métodos de amostragem e geoestatística aplicados ao inventário florestal**. 2007. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- DISPERATI, A. A.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Delineamento de copas de árvores em fotografias aéreas de alta resolução, através de suas sombras periféricas: estudo de caso na floresta ombrófila mista. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 195-202, mar./abr. 2005.
- HEURICH, M.; THOMA, F. Estimation of forestry stand parameters using laser scanning data intertemperature, structurally rich natural European beech (*Fagus sylvatica*) and Norway spruce (*Picea abies*). **Forestry**, Cary, v. 81, n. 5, p. 645-661, 2008.
- IOKI, K.; JUNICHI, I.; SASAKI, T.; MORIMOTO, Y.; KITADA, K. Estimating stand volume in broad-leaved forest using discrete-return LiDAR: plot-based approach. **Landscape Ecological Engineering**, Tokyo, v. 6, p. 29-36, 2010.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.
- JUPP, D.; CULVENOR, D.; LOVELL, G.; NEWHAM, G.; STRAHLER, A.; WOODCOCK, C. Estimating forest LAI profi and structural parameters using a ground-based laser called Echidna. **Tree Physiology**, Cary, v. 29, p. 171-181, 2009.

- KANEGAE JÚNIOR, H.; SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de *Eucalyptus sp.* **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 123-136, abr./jun. 2006.
- LAURI, K.; JUSSI, P.; JUKKA, M.; AKI, S.; MATTI, M.; PETTERI, P.; JYRKI, K. The use of airborne laser scanning to estimate sawlog volumes. **Forestry**, Cary, v. 81, n. 4, p. 499-509, 2008.
- LILLESSAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 4th ed. New York: J. Wiley, 2000. 724 p.
- MACEDO, R. C. **Estimativa volumétrica de povoamento clonal de *Eucalyptus sp.* através de laserscanner aerotransportado**. 2009. 143 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.
- MALTAMO, M.; EERIKÄINEN, K.; PITKÄNEN, J.; HYYPPÄ, J.; VEHMAS, M. Estimation of timber volume and stem density based on scanning laser altimetry and expected tree size distribution functions. **Remote Sensing of the Environment**, Bethesda, v. 90, p. 319-330, 2004.
- MCCOMBS, J. W.; ROBERTS, S. D.; EVANS, D. L. Influence of fusing lidar and multispectral imagery on remotely sensed estimates of stand density and mean tree height in a managed loblolly pine plantation. **Forest Science**, Bethesda, v. 49, n. 3, p. 457-466, 2003.
- MELLO, J. M. de; DINIZ, F. S.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO, C. R. de; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W. Continuidade espacial para características dendrométricas (número de fustes e volume) em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 185-194, 2009.
- NAESSET, E.; BJERKNES, K. Estimating tree heights and number of stems in young forest stands using airborne laser scanner data. **Remote Sensing of Environment**, Bethesda, v. 78, p. 328-340, 2001.
- OLIVEIRA, A. C. **Geotecnologia na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus spp.*** 2006. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- OLIVEIRA, L. T. de; CARVALHO, L. M. T. de; FERREIRA, M. Z.; OLIVEIRA, T. C. de A.; ACERBI JUNIOR, F. W. Aplicação do LIDAR no inventário de florestas plantadas com *Eucalyptus sp.* para contagem de árvores. **Cerne**, Lavras, v. 18, p. 75-184, 2012.
- PELLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba: [s.n.], 1997. 316 p.
- POPESCU, S. C.; WYNNE, R. H.; NELSON, R. F. Estimating plot-level tree heights with lidar with a canopy-height based variable window size. **Computers and Electronics in Agriculture**, Toowoomba, v. 37, n. 1/3, p. 71-95, Dec. 2002.
- RODRIGUEZ, L. C. E.; POLIZEL, J. L.; FERRAZ, S. F. B.; ZONETE, M. F.; FERREIRA, M. Z. Inventário florestal com tecnologia laser aerotransportada de plantios de *Eucalyptus spp* no Brasil. **Ambiência**, Garapuava, v. 6, p. 67- 80, 2010. Edição especial.
- SASAKI, T.; IMANISHI, J.; IOKI, K.; MORIMOTO, Y.; KITADA, K. Estimation of leaf area index and canopy openness in broad-leaved forest using airborne laser scanner in comparison with high-resolution near-infrared digital photography. **Landscap Ecological Engineering**, Tokyo, v. 4, p. 47-55, 2008.
- SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: FAEPE, 2006. 561 p.
- SOUZA, C. S.; MOREIRA, A. A.; SCHIMITH, R. S.; BRANDÃO, P. C.; SILVA, E. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios aos estudos de fl implantadas no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 409-417, out./dez. 2007.
- TIEDE, D.; HOCHLEITNER, G.; BLASCHKE, T. A full GIS-based workflow for tree identification and tree crown delineation using laser scanning. In: STILLA, U.; ROTTENSTEINER, F.; HINZ, S. (Ed.). **3D city models, road databases, and traffic monitoring: concepts, algorithms, and evaluation**. Vienna: IAPRS, 2005. p. 9-14.
- WULDER, M.; NIEMANN, K. O.; GOODENOUGH, D. Local maximum filtering for the extraction of tree locations and basal area from high spatial resolution imagery. **Remote Sensing of the Environment**, Saint Paul, v. 73, p. 103-114, 2000.
- YU, X.; HYYPPÄ, J.; KAARTINEN, H.; MALTAMO, M. Automatic detection of harvested trees and determination of forest growth using airborne laser scanning. **Remote Sensing of the environment**, Saint Paul, v. 90, p. 451-462, 2004.
- 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.
- ZONETE, M. F. **Análise do uso da tecnologia laser aerotransportado para inventários florestais em plantios clonais de *Eucalyptus sp* no sul da Bahia**. 2009. 95 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queirós", Piracicaba, 2009.
- ZONETE, M. F.; RODRIGUEZ, R. C. E.; PACKALÉN, P. Estimación de parâmetros biométricos de plantios clonais de eucalipto no sul da Bahia: uma aplicação da tecnologia laser aerotransportada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 225-235, jun. 2010.