

**MONITORAMENTO DA SOBREVIVÊNCIA DE *EUCALYPTUS* SPP. POR IMAGENS OBTIDAS POR VANTs**Eraldo Antonio Bonfatti Júnior¹, Elaine Cristina Lengowski² & Edegar Reese³

1 - Engenheiro florestal, doutorando em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba-PR, bonfattieraldo@gmail.com

2 - Engenheira industrial madeireira, professora adjunta, UFMT, Cuiabá-MT, elainelengowski@gmail.com

3 - Engenheiro florestal, sócio proprietário, Mapear Assessoria Florestal, Canoinhas-SC, edemar@mapearassessoria.com

Palavras-chave:

Censo florestal
Geoprocessamento
Inventário florestal
Silvicultura de precisão

RESUMO

A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) na silvicultura de precisão representa uma nova ferramenta ágil para o setor florestal brasileiro. Objetivou-se avaliar a mensuração com precisão da taxa de sobrevivência de povoamentos florestais de *Eucalyptus* spp. por imagens obtidas por VANTs. As imagens coletadas foram processadas e resultaram em ortomosaicos de resolução satisfatória para trabalhos de sensoriamento remoto, com pixels de 0,010 m x 0,010 m de resolução. Os inventários florestais de sobrevivência foram realizados em dois sistemas de amostragem, sistemático e aleatório, com parcelas fixas circulares de 10 m de raio, sendo que os resultados obtidos pelos inventários foram comparados com os valores reais encontrados pelos censos florestais. Tanto pelo processo sistemático de amostragem quanto pelo processo aleatório, os erros de amostragem relativos foram inferiores ao erro máximo admissível. Os valores médios de sobrevivência encontrados nos inventários florestais foram próximos às taxas reais de sobrevivência encontradas pelos censos florestais, somados a isso os resultados dos censos florestais de todos os talhões estiveram dentro dos intervalos de confiança em ambos os processos de amostragem. A satisfatória resolução dos ortomosaicos e a compatibilidade entre os resultados encontrados nos inventários florestais com os dos censos florestais indicam a possibilidade de se realizar monitoramento da sobrevivência remotamente com auxílio de VANTs.

Keywords:

Forestry census
Forestry inventory
Geoprocessing
Precision forestry

SURVIVAL MONITORING OF *EUCALYPTUS* SPP. BY UAV-BASED IMAGING**ABSTRACT**

The use of Unmanned Aerial Vehicles - UAV in precision forestry represents a new agile tool for the Brazilian forestry sector. The objective of this study was to evaluate the accuracy of the survival rate of forest stands of *Eucalyptus* spp. by UAV-based imaging. The collected images were processed and resulted in satisfactory resolution orthophotos for remote sensing works with 0.010m x 0.010m resolution pixels. Survival forest inventories were performed in two sampling processes, systematic and random, with circular fixed plots of 10 meters radius, the results obtained by the inventories were compared with the actual values found by the forest censuses. Both by the systematic sampling process and by the random sampling process, the relative sampling errors were fewer than the maximum permissible error. The average survival values found in the forest inventories were close to the actual survival rates found by the forest censuses, in addition the results of the forest censuses of all the stands were within the confidence intervals of the forest inventories in both sampling processes. The satisfactory resolution of the orthophotos and the compatibility between the results found in the forest inventories and those of the forest census indicate the possibility of carrying out forest survival inventories remotely with the assistance of UAVs.

INTRODUÇÃO

O processo de tomada de decisões sobre as diversas questões que envolvem a ciência florestal necessita de informação, e uma das formas de se obterem informações quantitativas e qualitativas das florestas é dada pelo inventário florestal (BRANDELERO *et al.*, 2008; QUEIROZ, 2012).

Para Péllico Neto e Brenda (1997), o inventário florestal tem como objetivo auxiliar no planejamento florestal ao estimar o volume da floresta. Contudo, essas estimativas consideram apenas a unidade de área, uma vez que o número de árvores não é constante nem conhecido (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Nesse contexto, o inventário de sobrevivência, realizado após o plantio, estima o percentual de falhas das mudas plantadas, a tempo de remediar com o replantio se a mortalidade encontrada for alta (SOARES *et al.*, 2012). Para Ruza *et al.* (2017), ter a sobrevivência de mudas homogêneas no talhão garante que o erro do inventário florestal futuro, para estimar o volume de madeira, possa ser menor e, conseqüentemente, que a intensidade amostral possa ser reduzida.

O nome VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) é mundialmente reconhecido pela sigla UAV, iniciais em inglês para Unmanned Aerial Vehicle, terminologia adotada pelo Departamento de Defesa Norte Americano (SILVA, 2013). No Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2012) define VANT como aeronave projetada para operar sem piloto a bordo, que possua uma carga útil embarcada e que não seja utilizado para fins meramente recreativos. Ainda segundo a ANAC (2012), incluem-se todos os aviões, os helicópteros e os dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos.

O uso de imagens para realização de trabalhos que exigem alta resolução já é aceito (LALIBERT *et al.*, 2011). Em se tratando de cobertura florestal, estudos comprovaram a eficiência do uso de dados obtidos por VANT para distintas abordagens. Podem-se destacar estudos desenvolvidos por: Glenn *et al.* (2008), que demonstraram a utilização de imagens obtidas por VANT para a geração de informações biofísicas da vegetação; Berni *et al.* (2009), que utilizaram dados no infravermelho termal e multiespectrais coletados por VANT

para o monitoramento da vegetação; Dunford *et al.* (2009), que caracterizaram florestas ripárias no Mediterrâneo através de VANT; Wallace *et al.* (2012), que obtiveram dados LiDAR com VANT, gerando informações de alturas e identificação de árvores para apoio a inventário florestal; Silva (2013), que demonstrou as possibilidades de monitoramento de atividades na floresta amazônica por VANT; Favarin *et al.* (2013), que conseguiram contar e mensurar copas de um povoamento de *Pinus taeda* com alta precisão utilizando um micro VANT.

Em se tratando de inventário florestal de sobrevivência, destacam-se os trabalhos de Pontes e Freitas (2015), que monitoraram a sobrevivência de plantios de eucalipto por meio de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas em imagens obtidas por VANT, e de Ruza *et al.* (2017), que realizaram inventário de sobrevivência com o uso de redes neurais artificiais em fotografias aéreas obtidas por VANT. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a mensuração com precisão da taxa de sobrevivência de povoamentos florestais de *Eucalyptus* spp. por imagens obtidas por VANT.

MATERIAL E MÉTODOS

Os talhões para a execução dos trabalhos localizam-se no município de Capão Bonito, estado de São Paulo (Figura 1). Esses talhões apresentam relevos plano a suave ondulado, com altitude aproximada de 700 m acima do nível do mar.

O clima do município de Capão Bonito é quente e temperado. Durante o ano existe uma pluviosidade significativa, mesmo que no mês mais seco a quantidade de chuva é considerável. Segundo Alvares *et al.* (2013), o clima é classificado como temperado úmido com verão quente (Cfa). A temperatura média anual é 18,6°C, já em fevereiro, mês mais quente, a temperatura máxima é de 22,3°C, e, em julho, mês mais frio, a temperatura mínima é de 14,5°C (CLIMATE-DATA, 2018).

Os voos foram executados em três áreas com plantio *Eucalyptus* spp. de aproximadamente 90 dias de idade, sendo os talhões A, B e C com áreas de 7,31, 8,89 e 8,36 hectares, respectivamente. Os talhões A e B foram plantados em espaçamento 3

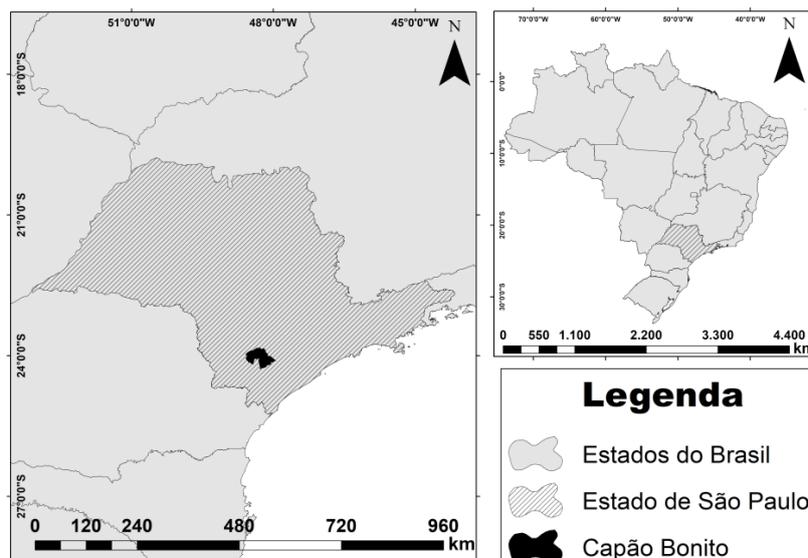


Figura 1. Mapa da localização da cidade de Capão Bonito, no estado de São Paulo

m x 2 m, resultando em uma densidade de 1667 árvores por hectare, enquanto o talhão C foi plantado em espaçamento 3,5 m x 2 m, resultando em um total aproximadamente de 1428 árvores por hectare.

As fotografias aéreas foram coletadas em junho de 2017, aos 90 dias de idade do povoamento, utilizando-se o VANT Arator 5A, fabricado pela empresa brasileira Xrobots, dotado de uma câmara digital Canon ELPH 160 de 20 megapixels, calibrada para obter imagens em RGB e NIR. Para orientação, o referido equipamento contém piloto automático com sistema de navegação interno para fornecer parâmetros de posição e orientação na coleta de imagens, tendo como referência o Sistema Global de Posicionamento (GPS).

O VANT foi programado com a altura de voo (100 m), os limites dos talhões e o plano de voo. Foi aplicado um *buffer* de 50 m para fora do perímetro dos talhões para garantir, no mínimo, sobreposição fotográfica de 70%. Essa medida é importante quando se busca excelente qualidade na ortofoto.

Além do voo, foram coletados pontos de controle para eventuais correções de deslocamento das imagens. Os pontos de controle são pontos cujas coordenadas são determinadas em campo através de métodos de posicionamento para apoiar o processamento e aumentar a precisão das imagens (MONICO, 2008).

O processamento das imagens aéreas foi

realizado utilizando o programa Agisoft Photoscan Professional Edition Version 1.0.4. Primeiramente, foi feita a seleção das imagens eliminando fotos excessivas, obtidas decorrente da alta sobreposição longitudinal. Essa seleção foi feita manualmente, excluindo as que apresentam problemas de qualidade decorrentes da inclinação e da variação de altitude.

A próxima etapa foi o alinhamento das imagens, buscando-se similaridade entre todas as fotografias processadas. O programa utiliza um recurso de projeção geométrica, ou seja, assimila duas imagens que têm padrão parelho.

Por último, foi realizada a aerotriangulação, que permite que todas as imagens que compõem o espaço e os pontos fotogramétricos fossem processadas juntas. Na sequência, nuvens de pontos foram estabelecidas em uma grade triangular irregular (Triangulated Irregular Network – TIN), processo que cria uma superfície a partir dos pontos detectados no processamento anterior. Quanto mais irregular for o relevo fotografado, maior será a densidade dos pontos.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi criado utilizando-se uma rotina do software que permite a escolha certa da quantidade de pontos para se formar a malha triangular, constituída por pequenos polígonos. Para o presente trabalho, compreendeu-se a criação da superfície otimizada para modelagem de superfícies planas e de

fotografias aéreas, com a densidade de pontos por malha em média de 200.000 polígonos gerados por interpolação.

As curvas de nível foram obtidas por diversos pontos com cotas conhecidas. A partir desses pontos, as curvas foram geradas com a interpolação de 1 x 1 m, representadas em uma projeção ortogonal da superfície do terreno com planos horizontais.

Ao final desse processo, obtiveram-se os ortomosaicos, que são os produtos finais. Além da imagem, foram criados arquivos vetoriais compatíveis com os formatos comuns para visualização. Neste trabalho a extensão utilizada foi Tagged Image File Format (.tif).

Para o inventário florestal, o método de amostragem foi o de área fixa em parcelas circulares de 10 m de raio com área de 314,1 m² (Figura 2). Esse formato de parcela ganha em eficiência entre todas as formas possíveis, porque, quando se fixa uma área, é o que possui menor perímetro e, conseqüentemente, reduz o problema de árvores marginais (PRODAN, 1965).

Após o processamento, as imagens foram importadas para o software ArcGis 10.1, em que parcelas foram alocadas e a classificação das mudas vivas e mortas foi feita de forma manual. Na Figura 2, os círculos brancos representam as mudas vivas e os pretos as mortas, e as mudas na linha do perímetro foram incluídas na contagem quando estavam, no mínimo, 50% dentro da parcela.

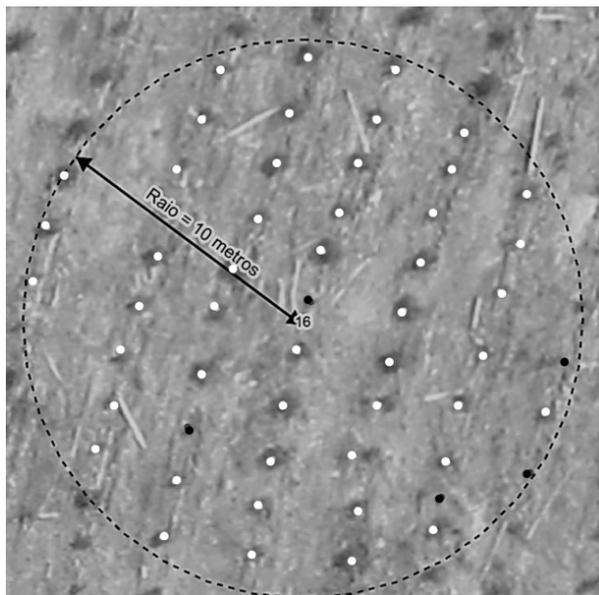


Figura 2. Parcela circular com 10 m de raio

A taxa de sobrevivência foi determinada pela razão entre o número de mudas vivas e o número de mudas plantadas, expressa em porcentagem.

O inventário florestal de sobrevivência foi feito por dois processos de amostragem: sistemático e aleatório. Neste trabalho foi utilizado o processo de amostragem sistemático em estágio único. A primeira parcela foi alocada aleatoriamente, a partir da qual as outras foram alocadas utilizando 20 m de distância em linhas e entrelinhas, propondo locar parcelas no talhão todo.

Para o processo de amostragem aleatório foi utilizado o tamanho da amostra encontrado a partir da variância da variável de interesse e da taxa de sobrevivência, obtidas por meio do inventário em processo de amostragem sistemático. As amostras nesse processo foram selecionadas por sorteio e de forma independente para garantir a aleatoriedade preconizada.

Para fins de cálculos, foi estabelecido erro máximo de 10 a 95% de probabilidade, e a determinação matemática seguiu a metodologia proposta por Sanquetta *et al.* (2014).

Além desses dois processos de amostragem, foram realizados censos florestais de sobrevivência em todos os talhões, para servirem de referências na comparação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Ruza *et al.* (2017), o pós-processamento de imagens obtidas por VANT é necessário para evitar erros, como a agregação de várias mudas em um único polígono, causando subestimativa de mudas vivas, assim como a classificação errônea de feições, como plantas competidoras e áreas na borda da imagem.

Após o processamento atingiu-se o tamanho de pixel de 0,010 x 0,010 m. De acordo com Melo (2003), a partir da resolução espacial de 1 x 1 m de pixel, é possível realizar trabalhos precisos de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Como a resolução encontrada no presente estudo é superior à recomendação do autor supracitado, o inventário florestal de sobrevivência realizado

pelos ortomosaicos obtidos pelo processamento de imagens não é passível de grandes erros.

Foram amostradas 48 parcelas no talhão A, 54 parcelas no talhão B e 50 parcelas no talhão C. A Tabela 1 mostra o resultado do inventário florestal de sobrevivência pela distribuição sistemática das parcelas.

Tabela 1. Resultados do inventário florestal de sobrevivência pelo processo de amostragem sistemático

Talhão	ER, %	, %	σ^2 , % ²	σ_x^2 , % ²
A	3,80	85,26	166,81	2,60
B	7,49	76,50	492,40	2,85
C	2,35	90,86	88,58	1,06

ER: erro de amostragem relativo; : média; σ^2 : variância; σ_x^2 : variância da média.

Os erros amostrais em todos os talhões ficaram abaixo de 10%, que era o limite máximo admissível, indicando suficiência amostral satisfatória. O talhão com melhor taxa de sobrevivência e mais homogêneo foi o talhão C, seguido pelo A e pelo B.

Todas as populações são finitas e o cálculo do tamanho de amostra se estabilizou em sete parcelas para o talhão A, 31 parcelas para o talhão B e cinco parcelas para o talhão C. Como o número de parcelas amostradas no processo de amostragem sistemático foi superior à suficiência amostral calculada em todos os talhões, confirma-se a suficiência amostral satisfatória.

A Tabela 2 mostra os resultados do inventário florestal de sobrevivência pelo processo de distribuição aleatório, utilizando o tamanho da amostra calculado de acordo com a variância encontrado pelo processo de amostragem sistemático.

Tabela 2. Resultados do inventário florestal de sobrevivência pelo processo de amostragem aleatório

Talhão	ER, %	, %	σ^2 , % ²	σ_x^2 , % ²
A	3,72	85,64	157,26	17,81
B	7,87	81,64	336,11	9,65
C	1,15	94,03	7,60	0,64

ER: erro de amostragem relativo; : média; σ^2 : variância; σ_x^2 : variância da média.

Novamente, os erros amostrais em todos os talhões ficaram abaixo do limite máximo admissível, indicando suficiência amostral satisfatório também no processo de amostragem aleatório. Assim como no processo de amostragem sistemático, o talhão com melhor taxa de sobrevivência e mais homogêneo foi o talhão C, seguido pelo A e pelo B. Desse modo, o menor de parcelas amostradas não foi fonte de erro para o processo de distribuição aleatória.

A Tabela 3 mostra os intervalos de confiança para dos dois processos de amostragem utilizados, bem como o resultado do censo florestal.

O censo florestal representa o valor real da variável inventariada, porém essa técnica é muito trabalhosa e muitas vezes impraticável. No presente trabalho, o censo só foi possível por ser um estudo remoto, e a campo seria impossível a contagem de todas as mudas vivas.

Os resultados do censo florestal para os talhões A, B e C foram, respectivamente, 87,05%, 76,99% e 92,54%. Os valores de sobrevivência encontrados são inferiores aos descritos por Silveira *et al.* (2004), que também estudaram a sobrevivência do gênero *Eucalyptus* spp. no estado de São Paulo.

Os resultados reais de sobrevivência, obtidos pelo censo florestal de todos os talhões estudados, estão dentro dos intervalos de confiança encontrados nos inventários, seja pelo processo de amostragem

Tabela 3. Intervalos de confiança para os dois processos de amostragem e o resultado do censo florestal

Talhões	IC sistemático	IC aleatório	Censo
A	IC= [82,02% ≤ \bar{X} ≤ 88,50%]=95%	IC= [82,46% ≤ \bar{X} ≤ 88,82%]=95%	87,05%
B	IC= [71,07% ≤ \bar{X} ≤ 82,23%]=95%	IC= [75,05% ≤ \bar{X} ≤ 87,87%]=95%	76,99%
C	IC= [88,72% ≤ \bar{X} ≤ 93,00%]=95%	IC= [92,19% ≤ \bar{X} ≤ 95,86%]=95%	92,54%

IC: intervalo de confiança, \bar{X} : média.

sistemático ou aleatório.

Os valores médios encontrados nos dois processos de amostragem foram praticamente coincidentes com o do censo no talhão A; já para o talhão B o valor médio encontrado pelo método de amostragem sistemático foi o que mais se aproximou do valor encontrado pelo censo; no talhão C o valor encontrado pelo censo ficou entre os valores encontrados pelos processos de amostragem testados.

A compatibilidade entre os resultados dos dois processos de amostragem e os dos censos florestais indica que o tamanho da amostra calculado para o processo de amostragem aleatório apresenta, de fato, suficiência amostral e também evidencia que a utilização de imagens obtidas por VANTS pós-processadas são adequadas para esse tipo de trabalho.

CONCLUSÕES

- O processamento de imagens utilizado resultou em ortomosaicos de alta resolução, ideais para análises remotas precisas.
- A compatibilidade entre os resultados dos dois processos de amostragem testados e os dos censos florestais indica que a utilização de imagens obtidas por VANT, rigorosamente processadas, é adequada para realização de inventário florestal de sobrevivência.
- A combinação de técnicas de inventário florestal estabelecidas, com o georreferenciamento de imagens obtidas por VANT, mostrou-se promissora e capaz de facilitar trabalhos antes considerados difíceis e onerosos, como o caso do censo florestal de sobrevivência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. Instrução suplementar n° 21-002. **Emissão de certificado de autorização de voo experimental para veículos aéreos não tripulados.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 05 out. 2012.

ALVES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS,

P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

BERNI, J.A.J.; ZARCO-TEJADA, P.J.; SUARES, L.; FERERES, E. Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Piscataway, v.47, n.4, p.722-738, 2009.

BRAMDELEIRO, C.; GIOTTO, E.; WATZLAVICK, L.F.; PEREIRA, R.S.; ANDREIS, S. Tecnologia móvel utilizada no inventário florestal. **Floresta**, Curitiba, v.38, n.4, p.727-734, 2008.

CLIMATE-DATA. **Clima: Capão Bonito.** Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/43702/>>. Acesso em: 04 jul. 2018.

DUNFORD, R.; MICHEL, K.; GAGNAGE, H.; PIÉGAY, M.; TRÉMELO, L. Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest. **International Journal of Remote Sensing**, Milton Park, v.30, n.19, p.4915-4935, 2009.

FAVARIN, J.A.S.; PEREIRA, R.S.; PEGORARO, A.J.; LIPPER, D.B. Obtenção de fotografias aéreas de um povoamento de *Pinus taeda* L. com o VANT Microdrone MD4-100. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16, 2013, Foz do Iguaçu, **Anais...** São José dos Campos: INPE: 2013.

GLENN, E.P.; HUETE, A.R.; NAGLER, P.L.; NELSON, S.G. Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. **Sensors**, Basel, v.8, n.4, p.2136-2160, 2008.

LALIBERT, A.S.; GOFORTH, M.A.; STEELE, C.M.; RANGO, A. Multispectral remote sensing from unmanned aircraft: image processing workflows and applications for rangeland environments. **Remote Sensing**, Basel, v.3, n.11, p.2529-2551, 2011.

- MELO, D.H.C.T.B. **Uso de dados IKONOS II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo**. 2003. 148f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de pesquisas Espaciais, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, São Paulo, 2003.
- MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSSI: descrição, fundamentos e aplicações** 2.ed. São Paulo: UNESP, 2008. 480p.
- OLIVIEIRA, L.T.; OLIVEIRA, T.C.A.; CARVALHO, L.M.T.; BATISTA, V.T.F.P.; FERREIRA, M.Z. Influência da idade na contagem de árvores de *Eucalyptus* sp. com dados de LiDAR. *Cerne*, Lavras, v.20, n.4, p.557-565, 2014.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D.A. **Inventário florestal**. Curitiba: Editado pelos autores, 1997. 316p.
- PONTES, G. R.; FREITAS, T. U. Monitoramento de plantios de eucalipto utilizando técnicas de sensoriamento remoto aplicadas em imagens obtidas por VANT. in: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17, 2015, João Pessoa, *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2015.
- PRODAN, M. **Holzmesslehre**. Frankfurt: Sauerlanders Verlag, 1965. 644p.
- QUEIROZ, W.T. **Amostragem em inventário florestal**. Belém: UFRA, 2012. 441p.
- RUZA, M.S.; DALLA CORTE, A.P.; HENTZ, A. M.K.; SANQUETTA, C.R.; SILVA, A.S.; SCHOENINGER, E.R. Inventário de sobrevivência de povoamento de *Eucalyptus* com redes neurais artificiais em fotografias aéreas obtidas por VANTs. *Advances in Forestry Science*, Cuiabá, v.4, n.1, p.83-88, 2017.
- SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D.; RODRIGUES, A.L.; WATZLAWICK, L.F. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 3. ed. Curitiba: Multi-Graphic, 2014. 406p.
- SILVA, E. Veículos aéreos não tripulados: panorama atual e perspectivas para o monitoramento de atividades ilícitas na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16, 2013, Foz do Iguaçu, *Anais...* São José dos Campos: INPE: 2013.
- SILVEIRA, R.L.V.; MOREIRA, A. HIGASHI, E.N. Crescimento e sobrevivência de mudas de mudas de eucalipto sob doses de boro cultivadas em condições de viveiro e de campo. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.28, n.2, p.366-371, 2004.
- SOARES, C.P.B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2011. 272p.
- WALLACE, L.; LUCIEER, A.; WATSON, C.; TURNER, D. Development of a UAV - LiDAR system with application to forest inventory. *Remote Sensing*, Basel, v.4, n.6, p.1519-1543, 2012.