

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E ZOOTECNIA
ENGENHARIA FLORESTAL

MATEUS TINÔCO SILVA

ESTIMATIVA DE ALTURA E DIÂMETRO EM PLANTIO EQUIÂNEO DE EUCALIPTO
COM AUXÍLIO DE TÉCNICAS DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

2018

ESTIMATIVA DE ALTURA E DIÂMETRO EM PLANTIO EQUIÂNEO DE EUCALIPTO
COM AUXÍLIO DE TÉCNICAS DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Monografia apresentada à Universidade Estadual
do Sudoeste da Bahia - UESB/ Campus Vitória da
Conquista – BA, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof.º D.Sc. Odair Lacerda Lemos

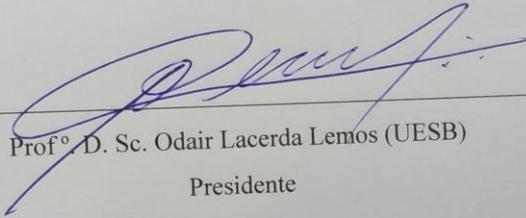
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
CAMPUS DE VITÓRIA DA CONQUISTA – BA
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E ZOOTECNIA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

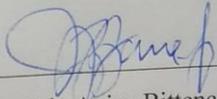
Título: ESTIMATIVA DE ALTURA E DIÂMETRO EM PLANTIO EQUIÂNEO DE EUCALIPTO COM AUXÍLIO DE TÉCNICAS DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL.

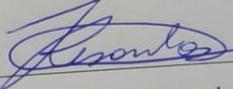
Autor: Mateus Tinôco Silva

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de BACHAREL em ENGENHARIA FLORESTAL pela Banca Examinadora:


Prof.º D. Sc. Odair Lacerda Lemos (UESB)

Presidente


Prof.ª D. Sc. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (UESB)


Eng.º Agrônomo José Renato Emiliano dos Santos (PPG Fitotecnia-UESB)

Data de Realização: 23 de maio de 2018.

UESB – Campus Vitória da Conquista. Estrada do Bem Querer, Km 04.
CEP: 45031-900

Telefone: (77) 3425-9380

Email: ccflorestal@uesb.edu.br

"If I have seen further, it is
by standing upon the shoulders of
giants."

Isaac Newton

Este trabalho foi formatado de acordo com as normas da Revista Floresta.

Sumário

INTRODUÇÃO	6
MATERIAL E MÉTODOS	7
Local de estudo	7
Aerolevanteamento	8
Planejamento da missão	8
Coleta de pontos de controle e pontos de checagem	8
Processamento das imagens e análise dos dados	8
Validação da metodologia	9
Ajuste do modelo diamétrico	9
RESULTADOS	9
Aerolevanteamento	9
Validação da metodologia	11
Ajuste do modelo diamétrico	12
DISCUSSÃO	13
Aerolevanteamento e validação da metodologia	13
Ajuste do modelo diamétrico	13
CONCLUSÕES	13
REFERÊNCIAS	14
NORMAS REVISTA FLORESTA	16

ESTIMATIVA DE ALTURA E DIÂMETRO EM PLANTIO EQUIÂNEO DE EUCALIPTO COM AUXÍLIO DE TÉCNICAS DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Mateus Tinôco Silva^{1*}, Odair Lacerda Lemos²

¹ Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Curso de Engenharia Florestal, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil – mateus-tinoco@hotmail.com (*AUTOR PARA CORRESPONDÊNCIA)

² Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil – odairlacerda@hotmail.com

Resumo

É imperativo que se conheça o estoque de material lenhoso presente nos plantios silviculturais, para que o manejo destas áreas possa suprir a demanda do mercado. Para isso, faz-se uso dos inventários florestais, que por meio de características mensuráveis como o diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total das árvores (Ht); calcula/estima a variável de interesse. Novas técnicas para medição destas variáveis estão constantemente sendo aprimoradas. Nesse sentido, o trabalho objetivou validar a fotogrametria digital com Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) como metodologia para estimar a Ht das árvores; e ajustar um modelo preditor do DAP, a partir da Ht em plantio do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. O estudo foi conduzido em um talhão de 32 hectares, equiâneo, em regime de alto fuste e espaçamento 4 m x 3 m; no município de Vitória da Conquista, BA. No aerolevantamento, utilizou-se uma RPA Phantom 4 e na coleta de pontos de controle e checagem, um receptor GNSS Mobile Mapper 10. Para validação da metodologia, foram mensuradas 40 árvores para comparar o valor de Ht obtido pela técnica proposta, com aquele advindo de técnicas consolidadas. Os dados utilizados no ajuste do modelo diamétrico foram oriundos de parcelas lançadas; e comparou-se o DAP estimado, com aquele medido. A distribuição dos valores foi comparada pelo teste de Kruskal-Wallis. A Fotogrametria digital se mostrou uma metodologia válida para estimar a Ht de indivíduos de eucalipto. O modelo diamétrico se apresentou uma alternativa confiável para obtenção do DAP a partir da Ht.

Palavras-chave: Inventário florestal, dendrometria, aeronave remotamente pilotada, sensoriamento remoto.

Abstract

Height and diameter estimation in an even aged eucalyptus forest with the aid of digital photogrammetry techniques. It's mandatory to know the stock of wood within a silvicultural plantation, to enable the management of these areas to meet the industry's wood demand. For this purpose, forest inventories calculates/estimates the interest variables from measurable characteristics, such as the diameter at breast height (DHB) and the total heights (TH) of individual trees. New techniques to measure these variables are being improved continuously. Hence, this work aimed to validate the use of digital photogrammetry with Remotely Piloted Aircraft (RPA) as a methodology to estimate the trees' TH; and fit a model to predict the DBH, from single tree TH in a *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* stand. The study was conducted in 32 hectares, even aged, 4 m x 3 m spacing forest; in the municipality of Vitória da Conquista, BA. A Phantom 4 RPA was used for the aerial survey; and a MobileMapper 10 GNSS receiver was used to collect ground control points and check points. To validate the methodology, the TH of 40 trees were measured and the resultant values from the proposed technic and from well-established techniques were compared. The data used to fit the model, were originated from sample plots, and the estimated DBHs were compared with the measured ones. The distribution of the values was compared with the Kruskal-Wallis test. Digital photogrammetry with RPA came out as a valid methodology to estimate the eucalyptus's TH. The diametric equation turned up as trustworthy option to obtain DBH from TH.

Keywords: Forest Inventory; dendrometry; remotely piloted aircraft, remote sensing.

INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório do ano 2017 da Indústria Brasileira de Árvores, o setor florestal brasileiro possui uma área de 7,84 milhões de hectares de florestas plantadas, garantindo 91% da madeira produzida para ser utilizada industrialmente. Tal grandeza também faz com que o ramo seja responsável por 6,2% do Produto Interno Bruto Industrial do país (IBÁ, 2017). Projeções de crescimento para o setor são constantes, de modo que nos meses de janeiro e fevereiro de 2018, a produção de celulose e de papel aumentaram 13,1 e 3,2 % (respectivamente), com relação ao mesmo período do ano anterior (IBÁ, 2018).

No entanto, para que o manejo destas florestas – desde o acompanhamento a campo, passando pela extração da madeira, até o seu beneficiamento – seja capaz de suprir a demanda do mercado e da indústria; deve-se conhecer o estoque de material lenhoso presente no stand em questão. Para isso faz-se uso dos inventários

florestais, que são procedimentos para aquisição de informações quantitativas, qualitativas e das condições dos recursos florestais (KERSHAW *et al.*, 2016).

No caso de inventários que enfatizam dados relacionados com a madeira, as informações supracitadas são obtidas por meio da medição e avaliação em solo de características mensuráveis como o diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total das árvores (Ht); que serão utilizados para calcular/estimar a variável de interesse (área basal, volume ou biomassa). Além disso, estas características podem ser obtidas usando dados remotamente detectados, como imagens de sensores orbitais, aéreos ou dados de radar (KERSHAW *et al.*, 2016).

Segundo Leite e Andrade (2003), a medição da Ht das árvores contribui de modo expressivo para o custo de um inventário, ficando atrás apenas do custo oriundo do deslocamento das equipes de campo. Desse modo, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de testar e aperfeiçoar técnicas que estimem tal variável de maneira prática e segura (BINOTI *et al.*, 2012; CAMPOS *et al.*, 2016; KOHLER *et al.*, 2017).

Segundo Spurr (1952-1953), a importância das imagens aéreas para as atividades diárias de gerenciamento da silvicultura era conhecida há muito tempo; sendo que alguns anos após a II Guerra Mundial, as técnicas fotogramétricas se tornaram parte integral da ciência florestal (fato considerado como um dos maiores avanços modernos desta disciplina). Paine e Kiser (2012), classificam os métodos de medição de dados extraídos de imagens aéreas em diretos e indiretos. As medições diretas são realizadas imediatamente nas ortofotos ou em seus produtos; enquanto o método indireto utiliza metodologias de regressão e correlação.

A Fotogrametria Structure from motion (SfM), é um método de restituição da superfície baseado em imagens, que usa fotografias digitais adquiridas de múltiplos pontos de vista para restituir a geometria tridimensional de um objeto ou superfície. Tal ferramenta é capaz de produzir dados de qualidade e resolução comparáveis com os obtidos por sensores tipo LiDAR (acrônimo para Light Detection And Ranging) ou pela fotogrametria clássica (FONSTAD *et al.*, 2013). O uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) tem se tornado comum na fotogrametria – pela sua aplicabilidade em diversos setores do mercado, pelos avanços da tecnologia computacional e pelo surgimento de softwares e sensores sofisticados. Estes equipamentos são ideais para desenvolvimento de novas tecnologias e coleta de dados, por poderem assumir missões de alto risco, além de suas operações serem de baixo custo – quando comparadas com aeronaves convencionais (JORGE; INAMASU, 2014).

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou validar o uso da fotogrametria digital com uso de RPA como metodologia para estimar a Ht; e ajustar um modelo preditor do DAP, a partir da Ht (obtida pela fotogrametria) de indivíduos em plantio do híbrido *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (Clone I144) no município de Vitória da Conquista - BA.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

O estudo foi desenvolvido em um talhão plantio de 32 hectares, seis anos (equiâneo) do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (Clone I144), em regime de alto fuste com espaçamento 4 m x 3 m. A propriedade rural está inserida no município de Vitória da Conquista, fazendo parte do Planalto dos Geraizinhos, sendo enquadrada no bioma Mata Atlântica, localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo pertencente à Região Hidrográfica Nacional Atlântico Leste (INEMA, 2014). O mapa de localização da área pode ser visualizado na Figura 1.

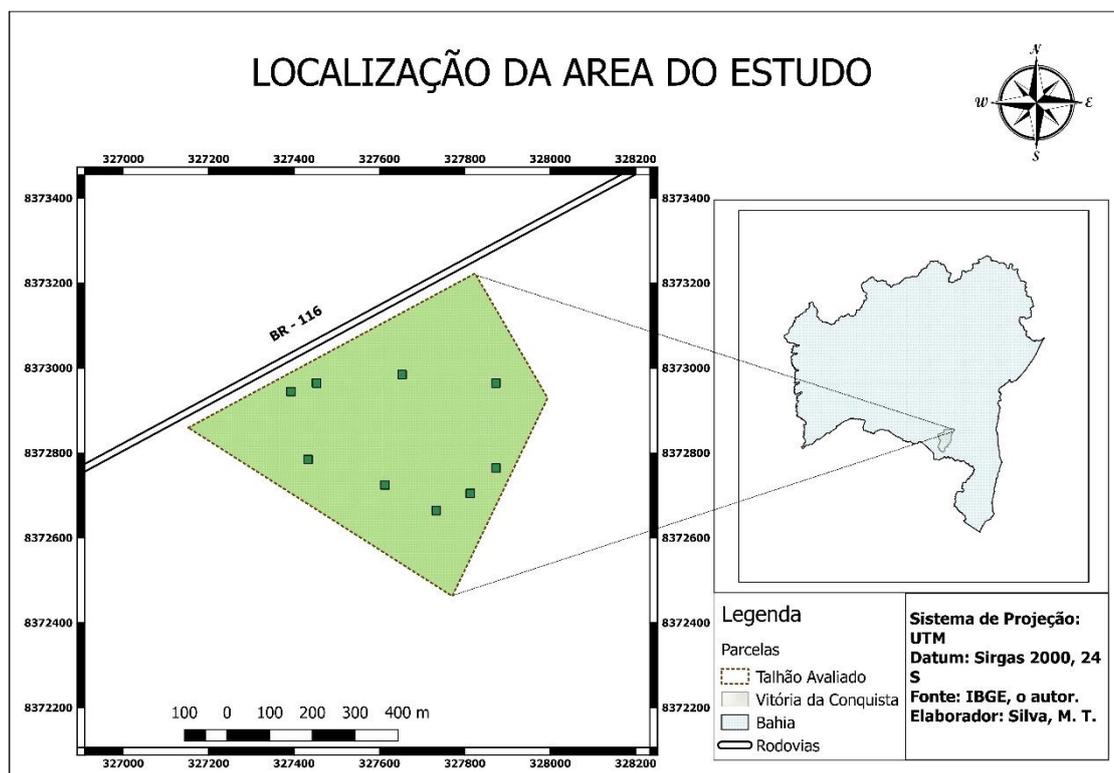


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo e das parcelas amostradas. Vitória da Conquista – BA, 2018.
Figure 1. Location map and sampled plots of the surveyed area. Vitória da Conquista – BA, 2018.

Aerolevanteamento

Planejamento da missão

As imagens foram tomadas no dia 11 de abril de 2018, a uma altitude de 120 metros, com sobreposição longitudinal e lateral de 90%, fazendo-se uso uma câmera digital que captura imagens de 12 megapixels na faixa RGB (red, green e blue) do espectro eletromagnético. A câmera esteve acoplada à uma RPA fabricada pela DJI, modelo Phantom 4. O plano de voo foi elaborado no aplicativo Drone Deploy, no qual foram inseridos os parâmetros da missão (delimitação da área a ser imageada, sobreposição de imagens, altura e ângulo de voo), após a escolha e reconhecimento da área do levantamento.

Coleta de pontos de controle e pontos de checagem

As coordenadas das imagens, por serem advindas do módulo GNSS embarcado, possuem erro de posicionamento comum aos receptores de navegação (3-9 metros). Para garantir a qualidade do produto, foram coletados com o receptor Mobile Mapper 10 (erro submétrico), pontos de controle (GCP) e pontos de checagem (CP). Os GCP foram utilizados para corrigir o posicionamento das fotos durante o processamento; enquanto os CP, para conferir a acurácia ao final do procedimento, a partir do cálculo da raiz do erro quadrático médio do posicionamento (RMSE) nos eixos X, Y e Z a partir da seguinte equação.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{PFi} - C_{CPi})^2}$$

em que: n = número de CPs; RMSE = erro quadrático médio em X, Y e Z (m); C_{PFi} = coordenada dos produtos fotogramétricos em X, Y e Z (m); C_{CPi} = coordenada dos CP em X, Y e Z (m).

Processamento das imagens e análise dos dados

O processamento inicial das imagens (aerotriangulação, ortoretificação, mosaicagem e elaboração do Modelo Digital de Superfície foi feito no software Agisoft PhotoScan (Versão 1.2.7), enquanto o pós-processamento e análise dos dados foi realizado no software QuantumGIS (Versão 2.18.18). Na fototriangulação, as coordenadas de qualquer ponto no terreno são determinadas por meio das coordenadas do centro de tomada da foto (JENSEN, 2009). A fotografia bruta não pode ser utilizada como fonte de informação métrica segura, já que possui erros causados pela rotação do sensor e deslocamentos devido ao relevo, além de características inerentes a uma projeção cônica – ter escala variável e deslocamento radial (COELHO; BRITO, 2007). Desse modo, fez-se

necessário um novo arranjo de pixels, de modo que o produto seja uma nova imagem em projeção ortogonal, chamada de ortofoto (ANDRADE, 1988). As ortofotos, então são unidas, com todas outras obtidas no levantamento, formando o ortomosaico.

Um dos principais produtos da fotogrametria são os modelos digitais. O Modelo Digital do Terreno (MDT) é um arquivo matricial (raster) que contém pontos de elevação de uma área contínua não incluindo pontos referentes à vegetação e feições construídas pela ação antrópica. Em contrapartida, um Modelo Digital da Superfície (MDS), contém informações da superfície como um todo, sendo mais sensível a efeitos da vegetação e menos sensível a variações do terreno propriamente dito (HUGENHOLTZ et al., 2013). O raster com altura total das árvores do povoamento foi obtido subtraindo o MDT do MDS com auxílio da ferramenta calculadora raster do SIG. O processamento dos GCPs e CPs foi executado no software Mobile Mapper Office, sendo utilizadas duas estações de controle da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo para correção das coordenadas brutas – Montes Claros (MG) e Teixeira de Freitas (BA).

Validação da metodologia

Foram selecionadas aleatoriamente 40 árvores dentro do talhão para se comparar altura medida utilizando técnicas fotogramétricas com aquela obtida pelo clinômetro eletrônico EC II da marca Haglöf e pelo aplicativo telemóvel Smart Measure (Versão 1.6.9). Em seguida, foram feitos os testes de Barlett e de Shapiro-Wilk, para verificar a homocedasticidade e a normalidade dos dados (respectivamente). Por fim, procedeu-se ao teste de Kruskal-Wallis, para testar hipótese H_0 - a de que as médias de altura oriundas dos três métodos não diferem estatisticamente entre si a 1% de probabilidade.

Ajuste do modelo diamétrico

Foram lançadas aleatoriamente 9 parcelas quadradas com área de 400 m. Em cada parcela, foram medidos Ht e DAP (a 1,30 m do solo) de todas as árvores, fornecendo assim dados para o ajuste dos modelos 1 e 2:

$$DAP = \beta_0 + \beta_1 Ht + \beta_2 Ht^2 + \varepsilon \quad (1)$$

$$DAP = \beta_0 + \beta_1 Ht + \beta_2 1/Ht^2 + \varepsilon \quad (2)$$

em que: DAP = diâmetro a 1,30 m do solo (cm); Ht = altura total (m); β_i = coeficientes do modelo; ε = erro aleatório.

Avaliou-se o desempenho do modelo, levando-se em conta do coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa (S_{YX}), bem como a análise dos resíduos. De posse valores de DAP estimados pelos modelos e medidos para as 40 árvores empregadas na validação da metodologia, foram feitos os testes de Barlett e de Shapiro-Wilk para verificar a homocedasticidade e a normalidade dos dados (respectivamente); e por fim, procedeu-se ao teste de Kruskal-Wallis, para testar hipótese H_0 - as médias de DAP obtidos pelos três métodos não diferem estatisticamente entre si a 1% de probabilidade.

RESULTADOS

Aerolevanteamento

Com resultado do processamento fotogramétrico, foram obtidos dois produtos tridimensionais que possibilitam inspeções em 3D de todas as árvores do povoamento em conjunto, ou individualmente – são eles a nuvem de pontos e a rede irregular de triângulos (TIN). A partir deles, foram retornados o ortomosaico, que possibilitou a individualização e determinação do posicionamento das árvores avaliadas; o MDS, contendo a altitude da área com relação ao modelo geoidal (EGM 96); além da Ht de todas as árvores do stand. Os produtos fotogramétricos obtidos podem ser visualizados na Figura 2 e na Figura 3.

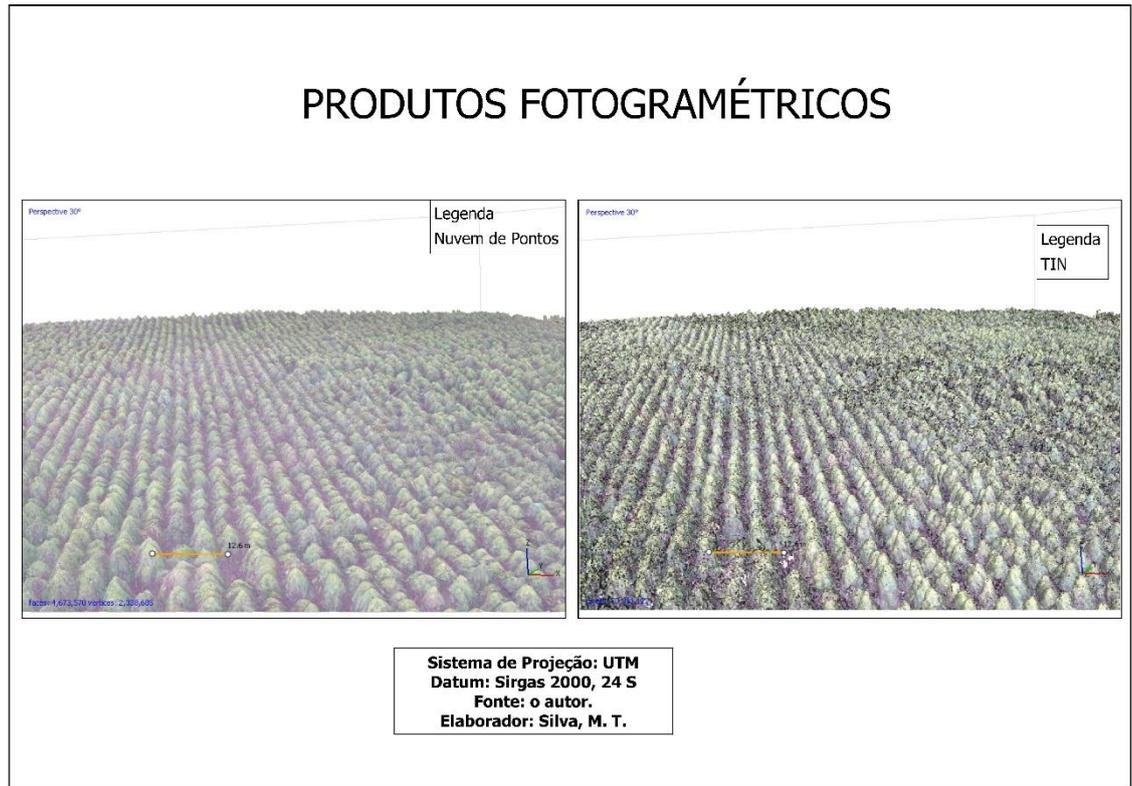


Figura 2. Nuvem de pontos e rede irregular de triângulos retornados para a área avaliada. Vitória da Conquista – BA, 2018.
 Figure 2. Point cloud and triangular irregular network retrieved from the surveyed area. Vitória da Conquista – BA, 2018.

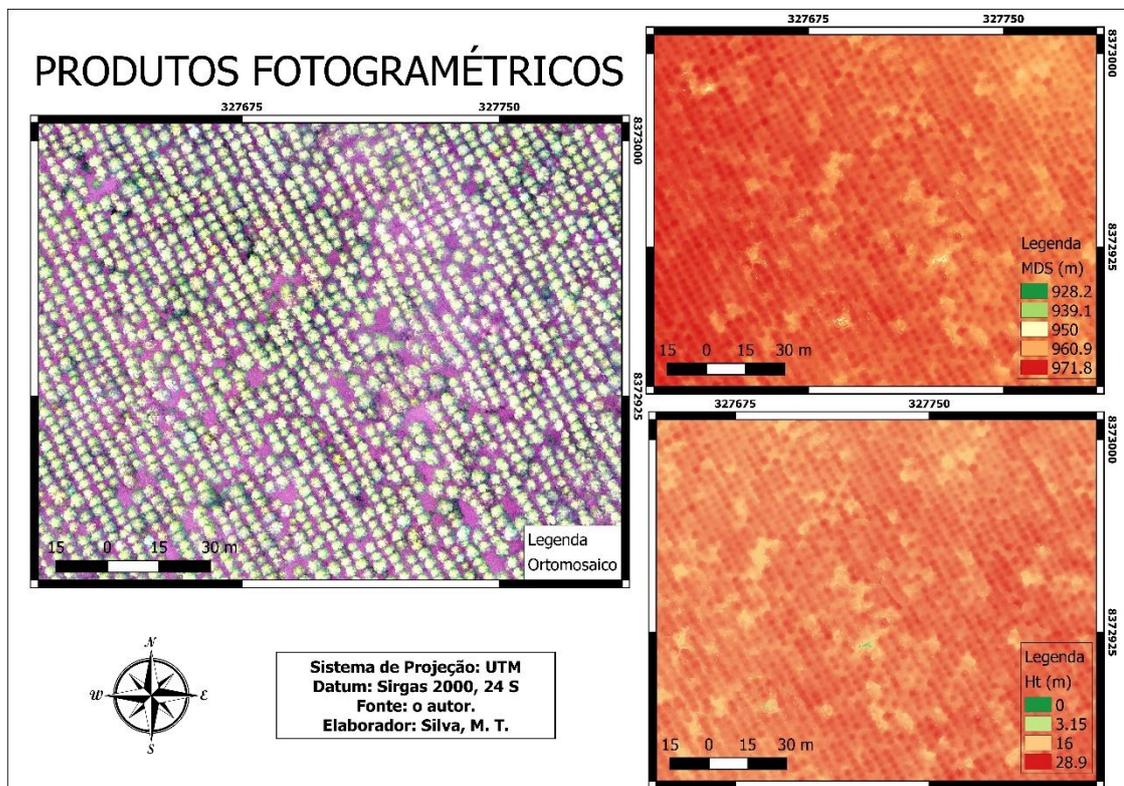


Figura 3. Ortomosaico, modelo digital de superfície e altura total retornados para a área avaliada. Vitória da Conquista – BA, 2018.

Figure 3. Orthomosaic, digital surface model and total heights retrieved from the surveyed area. Vitória da Conquista – BA, 2018.

O RMSE dos produtos fotogramétricos foi de 0,5541 m no eixo X (longitude), 0,7815 m em Y (latitude) e 2,9740 m em Z (altitude). O fato do erro ter sido maior no eixo da altitude pode estar associado ao tipo de sinal utilizado para o posicionamento captado pelos receptores GNSS. Enquanto o módulo da RPA utiliza somente o código C/A, o receptor que forneceu dados para a correção do posicionamento das imagens capta também a fase da portadora (L1).

Validação da metodologia

Na Figura 4, pode-se observar a distribuição dos valores de Ht obtidos pelos três métodos utilizados. Percebe-se que estes valores foram semelhantes para as metodologias; no entanto, a medição utilizando técnicas fotogramétricas tendeu a superestimar algumas árvores e a subestimar outras. Apesar das médias terem sido muito próximas, os valores de variância e desvio padrão para a metodologia proposta, foram maiores do que os mesmos parâmetros obtidos com as outras metodologias – como pode-se visualizar na Tabela 1. Tal diferença nos valores de alturas obtidos pela técnica proposta, pode ser explicada pelo fato do maior RMSE ter sido no eixo das altitudes, o que fez com que os valores de Ht se diferenciasssem mais nos locais com maior erro de posicionamento. Apesar disso, o valor do coeficiente de variação de 8,83% dos valores de Ht é considerado baixo.

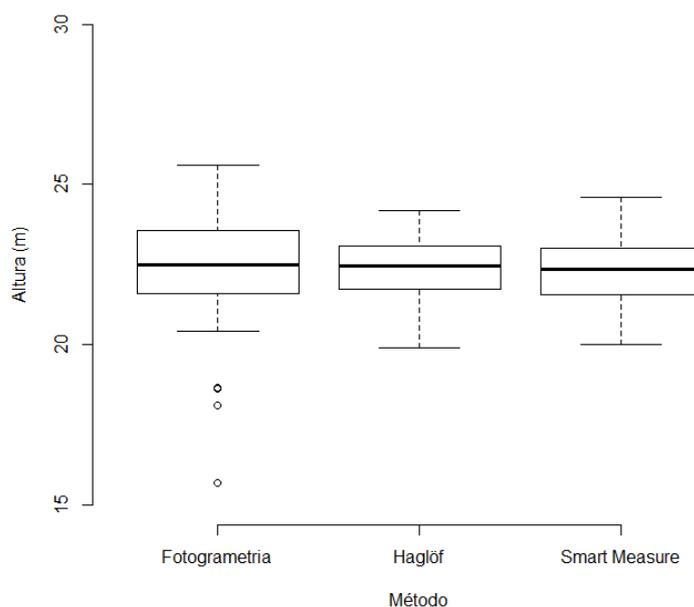


Figura 4 Distribuição dos valores da altura total em torno da mediana, comparando as três técnicas para as 40 árvores. Vitória da Conquista – BA, 2018.

Figure 4. Total height values distribution around the median, comparing three different techniques for 40 trees. Vitória da Conquista – BA, 2018.

Executando-se os testes de Barlett e de Shapiro-Wilk, observou-se a heterocedasticidade e não normalidade dos dados (respectivamente). Desse modo, procedendo-se ao teste de Kruskal-Wallis, conclui-se que as variâncias dos métodos testados são equivalentes, e que não houve diferença significativa entre as médias a 1% de probabilidade.

Tabela 1. Estatística descritiva dos métodos utilizados para estimativa da altura total.

Table 1. Descriptive statistics of used methods to estimate total height.

Método	Média (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)	S ² (m ²)	Cv (%)
Haglóf EC II	22,31 a	19,90	24,20	1,11	4,73
Smart Measure	22,20 a	20,0	24,6	1,17	4,88
Fotogrametria	22,31a	15,60	25,6	3,88	8,83

Legenda: S², Variância; S, desvio padrão; CV, coeficiente de variação; médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal-Wallis a 1% de probabilidade.

Ajuste do modelo diamétrico

A partir dos dados coletados nas parcelas, foram obtidos os coeficientes para os modelos 1 e 2. Os dois modelos apresentaram valores de coeficiente de determinação e erro padrão semelhantes – 0,8430 e 0,8421 para o R^2 e 10,14 e 10,17 % para o erro padrão da estimativa para os modelos 1 e 2 (respectivamente). Os parâmetros estatísticos e os coeficientes da regressão podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2. Estatísticas e coeficientes do ajuste de modelo preditor do diâmetro à altura do peito.
Table 2. Diameter at breast height predictor model's statistics and coefficient.

Modelo	R^2 (m)	S_{yx} (cm)	$S_{yx}\%$	Coeficientes		
				β_0	β_1	β_2
1	0,8421	1,6110	10,17	14,5927*	-1,3298*	0,0660*
2	0,8430	1,6064	10,14	-24,3044*	1,7507*	1553,5912*

Legenda: R^2 , coeficiente de determinação; S_{yx} , erro padrão da estimativa absoluto; $S_{yx}\%$, erro padrão da estimativa relativo; β_i , coeficientes das equações; *, coeficiente significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Os três métodos de obtenção do diâmetro, apresentaram médias semelhantes, sendo elas 17,90 cm para aqueles medidos em campo; 18,01 cm para aqueles obtidos pelo modelo 1; e 17,95 cm para os que foram advindos do modelo 2. No entanto, a amplitude de valores, a presença de outliers e a variância para o modelo 1, demonstram o melhor desempenho no modelo 2 na estimativa do DAP, com seus valores se aproximado mais ao valor medido a campo – como pode-se visualizar na Figura 5 e na Tabela 3.

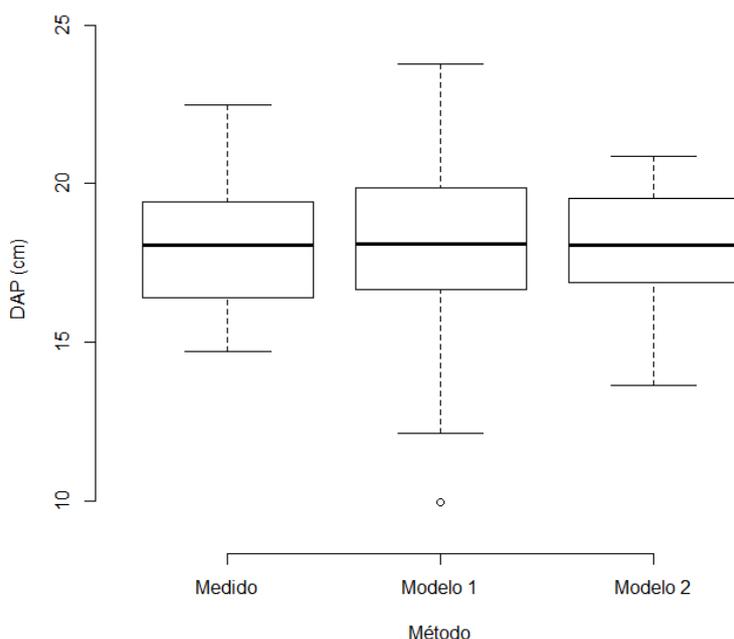


Figura 5. Distribuição dos valores do DAP em torno na mediana, comparando as três técnicas para as 40 árvores. Vitória da Conquista – BA, 2018.

Figure 5. DBH values distribution around the median, using three different techniques for 40 trees. Vitória da Conquista – BA, 2018.

Executando-se o teste de Barlett, observou-se a homocedasticidade das variâncias, mas o teste de Shapiro-Wilk concluiu pela não normalidade dos dados. Sendo assim, procedendo-se ao teste de Kruskal-Wallis, concluiu-se que as variâncias dos métodos testados são equivalentes, e não houve diferença significativa entre as médias de DAP a 1% de probabilidade, como pode-se observar na Tabela 3.

Tabela 3. Estatística descritiva dos métodos utilizados para obter o DAP.
Table 3 Descriptive statistics of used methods to retrieve DAP.

Método	Média (cm)	Mínimo (m)	Máximo (m)	S^2 (cm ²)	Cv (%)
Medido	17,90 a	14,7	22,25	4,01	11,20

Modelo 1	18,01 a	9,97	23,79	8,40	16,09
Modelo 2	17,95 a	23,79	20,88	4,01	11,15

Legenda: S², Variância; S, desvio padrão; CV, coeficiente de variação; médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal-Wallis a 1% de probabilidade.

DISCUSSÃO

Aerolevanteamento e validação da metodologia

Em seu estudo em plantios de oliveira na Espanha, Sánchez *et al.* (2015) compararam a posição, altura total e área/volume da copa obtidos por meio de técnicas fotogramétricas e medidas a campo para testar a eficácia do método proposto pelos autores. A investigação mostrou a capacidade dos procedimentos em produzir dados 3D de centenas de árvores de forma eficiente, possibilitando o computo de variáveis de uma forma alternativa ao difícil e ineficiente trabalho de campo.

Wallace *et al.* (2016) compararam nuvens de pontos 3D construídas com dados capturados por uma RPA usando metodologias fotogramétricas e LiDAR em uma parcela florestal na Austrália. Os autores se depararam com um RMSE de 0,42 m na horizontal e 0,17 m na vertical para os dados obtidos pelo radar, enquanto estes valores foram de 0,40 m e 0,14 m (respectivamente) para a SfM – valores de que não distam muito daqueles encontrados nesta pesquisa. Nesse contexto, concluíram que as duas tecnologias são capazes de mapear tridimensionalmente e prover uma representação acurada do dossel de áreas florestais.

Em um plantio de *Pinus pinea* em Portugal, Hernández *et al.* (2016) analisaram o potencial de uso de uma aeronave não tripulada de baixo custo para estimar altura e diâmetro da copa das árvores do stand, comparando com dados obtidos em campo. Os autores encontraram uma correlação de 0,81 entre altura estimada no campo e de forma remota; e concluíram que tais equipamentos podem prover dados para modelar de forma acurada tais variáveis, além de fornecerem informações a respeito da densidade, cobertura do dossel, volume e biomassa do stand.

Mohan *et al.* (2017) executaram um trabalho em uma floresta de coníferas mista nos Estados Unidos da América, para avaliar a aplicabilidade da SfM e de RPAs na construção de modelos de altura do dossel para detecção individual de árvores. Sua conclusão foi de que a metodologia aplicada é capaz de proporcionar uma contagem de árvores com acurácia aceitável, além de ressaltar o potencial da técnica para monitoramento em áreas florestais.

Han *et al.* (2017) utilizaram dados obtidos por uma RPA Phantom 3 para analisar a margem de erro e a resolução, comparando com resultados de medições de campo e para analisar padrões e preparação de um mapa da vegetação em um Parque Nacional da Coreia do Sul. Os autores encontraram um RMSE de 2,36 e 1,37 m em X e Y, e de 5,15 m em Z (valores maiores que aqueles encontrados neste trabalho); concluindo que vantagens são obtidas no uso destes dados pelo fato de poderem serem utilizadas para estudos de monitoramento de forma detalhada e contínua.

Ajuste do modelo diamétrico

Em seu trabalho utilizando imagens aéreas obtidas por meio de técnicas da fotogrametria convencional, Paine (1965) ajustou um modelo diamétrico para uma área equiânea de *Pinus ponderosa*, utilizando a altura total e o diâmetro da copa como variáveis independentes. Como estatísticas da regressão, o autor encontrou um R² de 0,973, enquanto o erro padrão de estimativa foi de 11,3%. O erro padrão encontrado pelo autor, foi levemente superior ao dos ajustes deste trabalho; enquanto o R² foi superior.

Zagalikis *et al.* (2011), utilizando dados coletados a campo e oriundos da fotogrametria digital, realizaram uma regressão para obter um modelo preditor do DAP, a partir da Ht e área da copa em um plantio de *Picea sitchensis* no nordeste da Escócia. Como resultados, obtiveram um coeficiente de correlação de 0,787 e um erro padrão da estimativa de 2,67 cm – valores muito próximos aos obtidos no ajuste desta pesquisa. Os autores concluíram que o método pode ser usado como alternativa para derivação de parâmetros de stands florestais – altura, área basal, volume e biomassa.

Kalliovirta e Tokola (2005) investigaram relações entre o DAP e diâmetro da copa e altura da árvore utilizando dados do Inventário Florestal Nacional Finlandês, encontrando um desvio-padrão de 3 cm para as equações utilizando apenas a Ht como variável independente. Os autores ainda apontaram que os modelos construídos podem ser utilizados para estimar variáveis dendrométricas a partir de diferentes dados do sensoriamento remoto, sendo capaz de reduzir a necessidade de trabalho de campo para inventários que se baseiem em árvores individuais.

CONCLUSÕES

- A Fotogrametria digital com uso de RPA se mostrou uma metodologia apropriada para estimativa da altura total de indivíduos de eucalipto em plantio equiâneo, sendo seus valores semelhantes aos obtidos por métodos tradicionais.
- Os modelos diamétricos se apresentaram como uma alternativa confiável para obtenção do DAP usando a Ht como variável independente, podendo ser usados como complementação do trabalho de campo em inventários florestais em plantio equiâneo de eucalipto.
- O modelo que utiliza altura total e o inverso do seu quadrado como variável independente apresentou melhor desempenho na predição do DAP.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J.B. de. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1988. 258 p.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. da S.; LEITE, H. G.; SILVA, A. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 1, p. 125 - 129, 2012.
- CAMPOS, B. P. F.; SILVA, G. F. da; BINOTI, D. H. B.; MENDONÇA, A. R. de; LEITE, H. G. Predição da altura total de árvores em diferentes espécies por meio de redes neurais artificiais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 88, p. 375 - 385, 2016.
- COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. 196 p.
- FONSTAD, M. A.; DIETRICH, J. T.; COURVILLE, B. C.; JENSEN, J. L.; CARBONNEAU, P. E. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, p. 421-430, 2013.
- HAN, Y. G.; JUNG, S. H.; KWON, O. How to utilize vegetation survey using drone image and image analysis software. **Journal of Ecology and Environment**, London, v. 41 (18), p. 1 - 6, 2017.
- HERNÁNDEZ, J. G.; FERREIRO, E. G.; SARMENTO, A.; SILVA, J.; NUNES, A.; CORREIA, A. C.; FONTES, L.; TOMÉ, M.; VARELA, R. D. Using high resolution UAV imagery to estimate tree variables in *Pinus pinea* plantation in Portugal. **Forest Systems**, Madrid, v. 25, n. 2, p. 1 - 5, 2016.
- HUGENHOLTZ, C. H.; WHITEHEAD, K.; BROWN, O. W.; BARCHYN, T. E.; MOORMAN, B. J.; LECLAIR, A.; RIDDEL, K.; HAMILTON, T. Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model. **Geomorphology**, v. 194, p. 16-24, 2013.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores – Março de 2018**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Cenarios/46_Cenarios.pdf>. Acesso em: 17 abril 2018.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório 2017**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 12 abril 2018.
- INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Regiões de planejamento e gestão das águas - RPGA, unidades de conservação e biomas (2014)**. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/MTematico_biomas.pdf> Acesso em: 23 fev. 2018.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.
- JORGE, L.A.C.; INAMASU, R.Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão, em Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. (eds) Bernardi, A.C.C; Naime, J.M.; Resende, A.V.; Bassoi, L.H.; Inamasu, R.Y., Brasília-DF, pp. 109-134, 2014.
- KALLIOVIRTA, J.; TOKOLA, T. Functions for estimating stem diameter and tree age using tree height, crown width and existing stand database information. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 39 (2), p. 227 - 248, 2005.
- KERSHAW JR, J. A.; DUCEY, M. J.; BEERS, T. W.; HUSCH, B. **Forest mensuration**. Chichester; Hoboken: John Wiley & Sons, 5 ed. 2016, 632 p.
- KOHLER, S. V.; FILHO, F. A.; KOEHLER, H. S.; ARCE, J. E.; RETSLAFF, F. A. de S.; SERPE, E. L. Estratégias de agrupamento de dados para modelagem hipsométrica e seus reflexos na estimativa de volume em plantios de *Pinus* spp. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 3, p. 307 - 316, 2017.
- LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 301 - 310, 2003.

MOHAN, M.; SILVA, C. A.; KLAUBERG, C. JAT, P.; CATTS, G.; CARDIL, A.; HUDAK, A. T.; DIA, M. Individual tree detection from unmanned aerial vehicle (UAV) derived canopy height model in an open canopy mixed conifer forest. **Forests**, Basel, v. 8, 340, p. 1 - 17, 2017.

PAINE, D. P. **Photogrammetric mensurational techniques for obtaining timber management data from aerial photographs of ponderosa pine stands—including the application of variable plot theory**. University of Washington: Ph.D. Dissertation, 1965.

PAINE, D. P.; KISER, J. D. **Aerial Photography and Image Interpretation**. Hoboken: John Wiley & Sons, 3 ed. 2012, 629 p.

SÁNCHEZ, J. T.; GRANADOS, F. L.; SERRANO, N.; ARQUERO, O.; PEÑA, J. M. High-throughput 3-D monitoring of agricultural-tree plantations with unmanned aerial vehicle (UAV) technology. **Plos One**, San Francisco, v. 10 (6), p. 1 - 20, 2015.

SPURR, S. H. Aerial photographs in forest management. **Photogrammetria**, New York, v. 9, p. 33 - 41, 1952-1953.

WALLACE, L.; LUCIEER, A.; MALENOVSKÝ, Z; TURNER, D.; VOPĚNKA, P. Assessment of forest structure using two UAV techniques: a comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. **Forests**, Basel, v. 7, 62, p. 1 - 16, 2016.

ZAGALIKIS, G.; CAMERON, A. D.; MILLER, D. R. The application of digital photogrammetry and image analysis techniques to derive tree and stand characteristics. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 35, n. 5, p. 1224 - 1237, 2011.

NORMAS REVISTA FLORESTA

O artigo deverá estar em formato compatível com Microsoft-Word, com as seguintes características:

Formato da página A4; espaçamento de texto: simples; margens: superior 3,0 cm, inferior 3,0 cm, esquerda 2,5 cm e direita de 2,5 cm; tamanho 10, fonte times new roman, alinhamento justificado, recuo especial na primeira linha de 1,25 cm em cada parágrafo, espaçamento simples, número de páginas: máximo de 10, incluindo tabelas e figuras.

Todos os itens (introdução, material e métodos, resultados, discussão, conclusões e referências) devem estar em negrito à esquerda, não numerados e em caixa alta. Quando houver subitens, deverá ser obedecida a seguinte ordem: o primeiro subitem deverá ser em negrito, em caixa baixa, somente a primeira inicial maiúscula; o segundo subitem igual ao primeiro sem negrito. Não é permitido o uso de anexos.

TÍTULO: centralizado, sem negrito, em caixa alta, em fonte tamanho 14, não ultrapassando 20 palavras.

AUTOR(ES): essas informações não devem constar na versão da submissão, só serão inseridas no momento para publicação, mas devem ser cadastradas no Sistema Eletrônico de Revistas (SER) no ato da submissão.

em fonte tamanho 10, logo abaixo do título, centralizado(s), somente a primeira inicial maiúscula, chamamento com sobrescrito. Abaixo do(s) nome(s) do(s) autor(es), separado(s) por apenas um espaço, em tamanho 8, devem constar: instituição a que pertence(m), cidade, estado, país e endereço eletrônico. O autor para correspondência deve ser destacado.

É necessário que seja encaminhada a descrição detalhada de contribuição de cada um dos autores do artigo, e o número máximo não deve exceder a 6. A declaração deve ser anexada no sistema como DOCUMENTO SUPLEMENTAR.

RESUMO E ABSTRACT: as palavras resumo e abstract somente com as iniciais maiúsculas, centralizadas e em negrito, e os seus textos redigidos num único parágrafo, não excedendo 250 palavras, fonte 9, times new romam, recuo do texto em 1 cm esquerdo e direito. No final do resumo e do abstract devem ser incluídas até cinco palavras-chave/keywords, diferentes das

contidas no título do artigo. No início do abstract deve constar o título do artigo em inglês e em itálico.

INTRODUÇÃO: deve **obrigatoriamente apresentar a(s) hipótese(s) e o(s) objetivo(s)** do trabalho. Nomes científicos, quando citados pela primeira vez no texto, devem ser escritos na íntegra: gênero, espécie e autor(es). Siglas e abreviaturas, ao aparecerem pela primeira vez no artigo, devem ser colocadas entre parênteses, precedidas do nome por extenso. As citações devem seguir o sistema de nome e ano (ver REFERÊNCIAS).

MATERIAL E MÉTODOS: artigos que envolvam plantas e outras formas de vida (fungos, insetos etc.) devem apresentar o **número de registro de tombamento** em instituições que mantêm coleções científicas de acesso público. A omissão acarretará a recusa do manuscrito.

As fórmulas e equações devem ser inseridas com a função *Equation* do Word.

RESULTADOS: tabelas e figuras deverão ser incluídas ao longo do texto, com títulos em caixa baixa, exceto a letra inicial, em português e em inglês. As tabelas devem ser produzidas em editor de texto (Word) e não podem ser inseridas no texto como figuras. As figuras, compostas por gráficos, fotografias e mapas, sem sombreado e sem contorno. As dimensões (largura e altura) não devem ser maiores que 15 cm, sempre com orientação da página na forma retrato, com legendas na fonte Times New Roman, não-negrito e não-italico. Mapas devem ter escala gráfica. **A soma do número de figuras e de tabelas não deve ultrapassar oito.**

DISCUSSÃO: a discussão deve ser apresentada em item separado dos resultados. As citações devem seguir o sistema de nome e ano (ver REFERÊNCIAS).

CONCLUSÕES: devem ser organizadas em forma de itens e não se admite citações bibliográficas.

AGRADECIMENTOS: se houver.

REFERÊNCIAS: pelo menos 70% das referências devem ser de artigos científicos dos últimos 10 anos. O número de citações não deve ultrapassar a 25. **Não serão admitidas citações de teses, dissertações e trabalhos publicados em eventos científicos.**

As citações que estiverem em texto corrente devem estar em caixa baixa e as entre parênteses, em caixa alta. Quando houver três ou mais autores, a citação será feita utilizando-se “*et al.*” (em itálico). Todos os autores deverão ser citados nas referências. Ex.: Martins (2009); Campos e

Leite (2009); Wendling *et al.* (2014); (LARCHER, 2006); (BARBOSA; FARIA, 2006); (VENDRAMINI *et al.*, 2011). Quando houver mais de uma referência do mesmo autor em um mesmo ano, essas deverão ser distinguidas por letra minúscula após a data. Ex.: Machado (2011a); Machado (2011b).

As referências bibliográficas devem estar em ordem alfabética, seguindo as normas da ABNT-NBR - 6023, assim como outros aspectos não contemplados nesta normativa, conforme exemplos abaixo:

a) Livro:

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2 ed. 2009, 624 p.

b) Capítulo de livro:

MARTINS, F. R.; BATALHA, M. A. Formas de vida, espectro biológico de Raunkiaer e fisionomia da vegetação. In: FELFILI, J. M.; ENSENLOHR, P. V.; MELO, M. M, da R. F. de; ANDRADE, L. A. de; MEIRA NETO, J. A. A. **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso**. Viçosa: Ed. UFV, 2011, 556 p.

c) Artigo de periódico:

PEREIRA, L. A.; PINTO SOBRINHO, F. de A.; COSTA NETO, S. V. Florística e estrutura de uma mata de terra firme na reserva de desenvolvimento sustentável rio Iratapuru, Amapá, Amazônia Oriental, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 113 - 122, 2011.

COPENHAVER, P. E.; TINKER, D. B. Stand density and age affect tree-level structural and functional characteristics of young, postfire lodgepole pine in Yellowstone National Park, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 320, p. 138 - 148, 2014.

d) Internet:

MISSOURI BOTANICAL GARDEN - MOBOT. **Explore the beta release of web TROPICOS**. Disponível em: <<http://www.tropicos.org/>> Acesso em: 01/12/2014.

e) Legislação:

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428,

de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n^{os} 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n^o 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, vinte e cinco de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 01 dez 2014.