

## Regressão logística para a estimativa da massa verde de folhas de eucalipto em espaçamentos superadensados

Adrielly Rodrigues Nascimento <sup>1</sup>; Dalila de Oliveira Santos <sup>2</sup>; Carlos Henrique Souto Azevedo <sup>3</sup>; Junior Vitor Rodrigues dos Anjos <sup>4</sup>; Bruno Oliveira Lafetá <sup>5</sup>; Caroline Junqueira Sartori <sup>6</sup>;

1 Adrielly Rodrigues Nascimento, Bolsista (IFMG), Engenharia Florestal, IFMG Campus São João Evangelista, São João Evangelista - MG; drica10vvp@hotmail.com

2 Dalila de Oliveira Santos, Engenharia Florestal, IFMG Campus São João Evangelista, São João Evangelista - MG

3 Carlos Henrique Souto Azevedo, Engenharia Florestal, IFMG Campus São João Evangelista, São João Evangelista - MG

4 Junior Vitor Rodrigues dos Anjos, Engenharia Florestal, IFMG Campus São João Evangelista, São João Evangelista - MG

5 Bruno Oliveira Lafetá, Coordenador, IFMG Campus São João Evangelista, São João Evangelista - MG

6 Caroline Junqueira Sartori : Pesquisadora do IFMG, Campus São João Evangelista; caroline.sartori@ifmg.edu.br

### RESUMO

Informações sobre a quantidade de biomassa alocada em folhas subsidiam a manutenção da produtividade em talhões comerciais de eucalipto. Diversas pesquisas já foram conduzidas empregando modelos lineares de regressão para a resolução de dificuldades do planejamento florestal, mas ainda são poucos os trabalhos que contemplam a modelagem não linear da massa verde de folhas em plantios superadensados de eucalipto. O objetivo foi avaliar a eficiência do ajuste do modelo logístico para a estimativa da massa verde de folhas de eucalipto em espaçamentos superadensados. O experimento foi instalado em maio de 2012 utilizando-se um híbrido de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* S. T. Blake. Os dados foram submetidos à análise de regressão não linear através do método iterativo de Levenberg-Marquardt. O modelo logístico de três parâmetros foi ajustado para a estimativa da massa verde de folhas. Testou-se como variável preditora do modelo os atributos biométricos DAP, H e o produto entre DAP e H (DAPH). Todos os coeficientes de correlação foram altos ( $r > 0,75$ ) e significativos ( $p \leq 0,01$ ). Assumindo a dificuldade em se estabelecer uma relação funcional entre a massa seca de folhas e atributos biométricos do caule, a qualidade dos ajustes foi considerada satisfatória. A fundamentação biológica do modelo empregado resultou em um comportamento sigmoidal, que é o esperado para o desenvolvimento vegetal. A equação que utilizou somente o DAP como variável preditora exibiu os menores valores de RQEM e AIC, indício claro de melhor qualidade de ajustamento, assim se vê grande importância prática, pois o DAP é um atributo biométrico de fácil e rápida medição, rotineiramente tomada em inventário florestais. Todas as equações apresentaram aderência aos dados observados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ( $p > 0,01$ ). Os resultados obtidos fornecem subsídios para o desenvolvimento de futuras pesquisas sobre modelagem não linear para a estimativa de métricas da copa em plantações de eucalipto estabelecidas em espaçamentos reduzidos.

**Palavras-Chaves:** Biomassa, Produtividade e Modelagem.

### INTRODUÇÃO

As folhas são órgãos fotossinteticamente ativos, característica essencial para a sobrevivência, estabelecimento e crescimento de plantas (FREITAS et al., 2013). Informações sobre a quantidade de biomassa alocada em folhas subsidiam a manutenção da produtividade em talhões comerciais de eucalipto (BINKLEY et al., 2010; ABREU et al., 2016). Métricas de copa, como a biomassa de folhas, são úteis em pesquisas de rotina e científicas pautadas na fixação de carbono, ciclagem de nutrientes e produção madeireira e/ou não madeireira (BEHLING, 2014).

Diversas pesquisas já foram conduzidas empregando modelos lineares de regressão para a resolução de dificuldades do planejamento florestal (CAMPOS e LEITE, 2017). Contudo, ainda, são poucos os trabalhos que contemplam a modelagem não linear da massa verde de folhas em plantios superadensados de eucalipto.

A modelagem do crescimento vegetal é uma ferramenta de gestão que respalda decisões silviculturais. O uso do modelo logístico é crescente no setor florestal em virtude da fundamentação

biológica e facilidade de interpretação dos seus parâmetros. O sucesso do modelo logístico tem sido constatado para a estimativa volumétrica de madeira (CARVALHO et al., 2011), hipsometria, classificação de sítios (MELO et al., 2017) e volume de sortimentos (MENDONÇA et al., 2014).

O objetivo foi avaliar a eficiência do ajuste do modelo logístico para a estimativa da massa verde de folhas de eucalipto em espaçamentos superadensados.

## METODOLOGIA

O estudo foi conduzido a 18°32'52,55" de latitude Sul e 42°45'36,16" de longitude Oeste (Datum WGS84), em área do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, campus de São João Evangelista. O clima da região é temperado chuvoso-mesotérmico e classificado como Cwa pelo sistema de Köppen (KÖPPEN, 1936), com inverno seco e verão chuvoso. A precipitação média anual é de 1.360 mm e a temperatura média anual de 19,1 °C (INMET, 2019).

O experimento foi instalado em maio de 2012 utilizando-se um híbrido de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* S. T. Blake sobre Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com o horizonte A proeminente, textura arenosa, relevo plano e a 710 m de altitude.

Foram estabelecidas seis parcelas experimentais; três parcelas sob espaçamento 3,0 x 1,0 m e o restante, 3,0 x 1,5 m. Cada parcela foi definida por quatro linhas de plantio com 7 plantas, totalizando 28 indivíduos em cada parcela, dos quais 10 foram mensurados, por ter sido adotada a bordadura simples.

Aos 72 meses de idade, mensuraram-se o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (Diâmetro à Altura do Peito, DAP, cm) e a altura total (H, m) de todas as árvores com auxílio de suta mecânica e hipsômetro eletrônico Haglof, respectivamente.

Estabeleceram-se 4 classes diamétricas com intervalos regulares, baseando-se na amplitude de variação do DAP. Foram abatidas 2 árvores por classe diamétrica para a quantificação da massa verde de folhas (W, kg árvore<sup>-1</sup>), totalizando 8 indivíduos. As folhas das árvores foram pesadas em campo.

Os dados foram submetidos à análise de regressão não linear através do método iterativo de Levenberg-Marquardt. O modelo logístico de três parâmetros foi ajustado para a estimativa da massa verde de folhas. Testou-se como variável preditora do modelo os atributos biométricos DAP, H e o produto entre DAP e H (DAPH).

$$W = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\gamma X}} + \varepsilon$$

Em que: W = massa verde de folhas; X = atributo biométrico (DAP, H, e DAPH);  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  = parâmetros do modelo logístico; e = constante neperiana; e  $\varepsilon$  = erro aleatório.

A qualidade dos ajustes foi avaliada de acordo com os valores do coeficiente de correlação de Pearson (r), Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM) e critério de informação de Akaike (Akaike Information Criterion, AIC). Menores valores de RQEM e AIC implicaram em melhor qualidade preditiva. A aderência das equações aos dados foi avaliada pelo teste Kolmogorov-Smirnov (GIBBONS e SUBHABRATA, 1992).

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R 3.5.2 (R CORE TEAM, 2019), adotando o nível de significância de 1% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os parâmetros e a qualidade dos ajustes do modelo logístico com diferentes preditores estão apresentados na Tabela 1. Todos os coeficientes de correlação foram altos ( $r > 0,75$ ) e significativos ( $p \leq 0,01$ ). Assumindo a dificuldade em se estabelecer uma relação funcional entre a massa seca de folhas e atributos biométricos do caule, a qualidade dos ajustes foi considerada satisfatória. A fundamentação biológica do modelo empregado resultou em um comportamento sigmoidal, que é o esperado para o desenvolvimento vegetal.

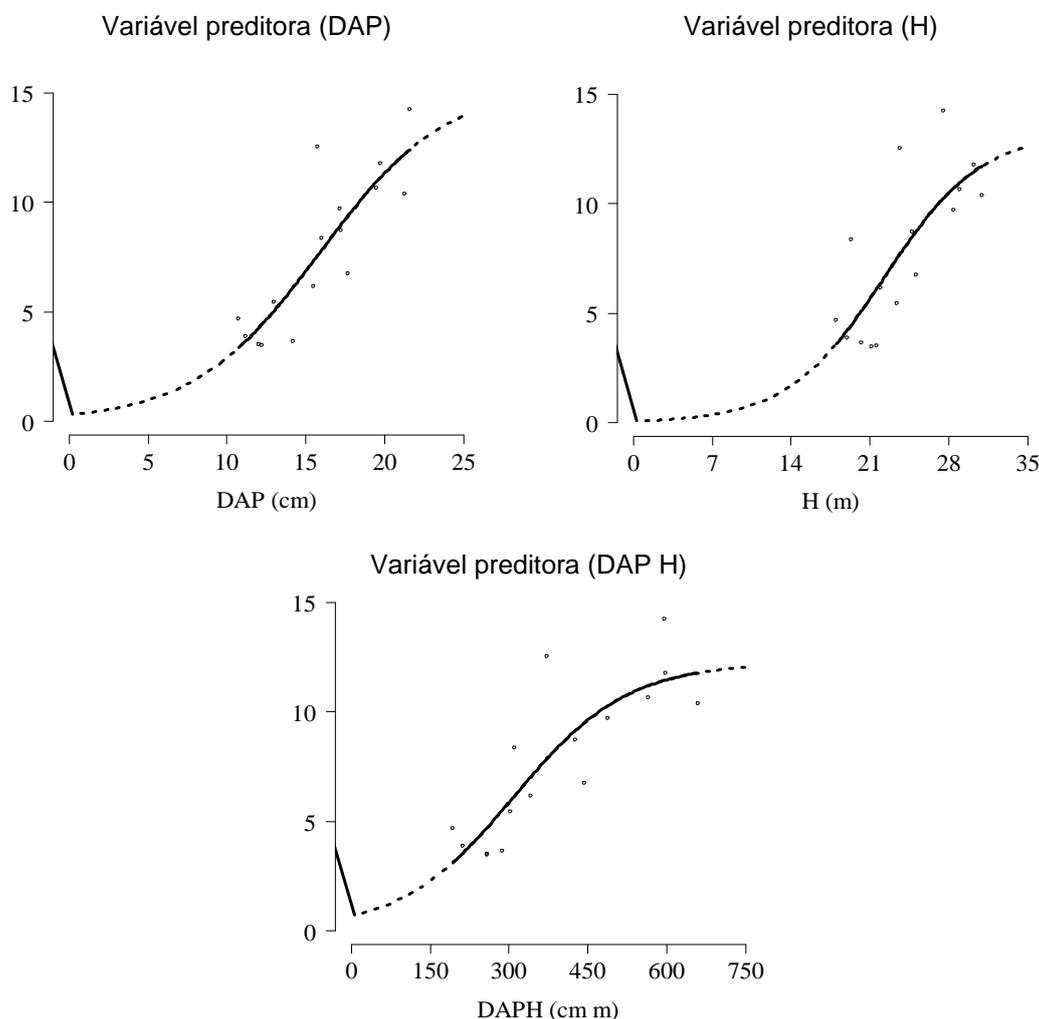
**Tabela 1.** Parâmetros e qualidade de ajuste do modelo logístico para a estimativa da massa verde de folhas de eucalipto em espaçamentos superadensados e aos 72 meses de idade.

Variável preditora	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	r	RQEM	AIC
DAP	15,437249	51,264996	0,247408	0,8553*	1,7732	71,7356
H	13,275631	177,310103	0,232335	0,7568*	2,2383	79,1885
DAP H	12,234594	17,386210	0,009241	0,8421*	1,8462	73,0255

$\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  = parâmetros do modelo logístico; r = coeficiente de correlação de Pearson; RQEM = raiz quadrada do erro médio; e AIC = critério de informação de Akaike.

A equação que utilizou somente o DAP como variável preditora exibiu os menores valores de RQEM e AIC, indício claro de melhor qualidade de ajustamento conforme Gujarati (2011). Esse fato possui grande importância prática, pois o DAP é um atributo biométrico de fácil e rápida medição, rotineiramente tomada em inventário florestais. A assíntota dessa equação, representada pelo parâmetro  $\alpha$ , foi maior em relação àquela proveniente do ajuste com a altura. Este resultado está condizente com o esperado biologicamente para povoamentos de eucalipto; rápido desenvolvimento em altura para sobrevivência e estabelecimento (crescimento primário) e posterior incremento diametral (crescimento secundário).

Todas as equações apresentaram aderência aos dados observados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ( $p > 0,01$ ). A inclusão de duas variáveis biométricas preditoras no modelo, expressas por relação multiplicativa (DAPH), não necessariamente implicou em melhorias na qualidade de ajuste. Os resultados obtidos fornecem subsídios para o desenvolvimento de futuras pesquisas sobre modelagem não linear para a estimativa de métricas da copa em plantações de eucalipto estabelecidas em espaçamentos reduzidos.



**Figura 1.** Curvas geradas com o ajuste do modelo logístico para a estimativa da massa verde de folhas de eucalipto (kg árvore<sup>-1</sup>, eixo y) em espaçamentos superadensados e aos 72 meses de idade, com diferentes variáveis predictoras (eixo x).

## CONCLUSÕES

A equação proveniente do ajuste do modelo logístico que utiliza o DAP como variável preditora é eficiente para a estimativa da massa verde de folhas de eucalipto em espaçamentos superadensados.

As equações que utilizam isoladamente o DAP e a altura como variável preditora tendem apresentar maior e menor assíntota, respectivamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABREU, J. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; ALVES JUNIOR, F. T. Ajuste de modelos matemáticos lineares e não lineares para estimativa de biomassa e nutrientes de *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* no semiárido pernambucano. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 739-750, 2016.

BEHLING, A. **A produção de biomassa e o acúmulo de carbono em povoamento de acácia negra em função de variáveis bioclimáticas**. 2014. 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2014.

BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; BAUERLE, W. L.; RYAN, M. G. Explaining growth of individual trees: Light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1704–1713, 2010.

CAMPOS, J. C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 5. ed. Viçosa: UFV. 2017. 636p.

CARVALHO, S. P. C.; CALEGARIO, N.; SILVA, F. F.; BORGES, L. A. C.; MENDONÇA, A. R.; LIMA, M. P. Modelos não lineares generalizados aplicados na predição da área basal e volume de *Eucalyptus* clonal. **Cerne**, v. 17, n. 4, p. 541-548, 2011.

FREITAS, G. A.; BARROS, H. B.; SANTOS, M. M.; NASCIMENTO, I. R.; COSTA, J. L.; SILVA, R. R. Production of lettuce seedlings under diferente substrates and proportions of rice hulls. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 3, p. 260-268, 2013.

GIBBONS, J. D.; SUBHABRATA, C. **Nonparametric statistical inference**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, 1992. 544p. (Statistics: Textbook and Monograph, 31).

GUJARATI, D. N. **Econometria básica**. 5. ed. AMGH Editora Ltda.: São Paulo, 2011. 924p.  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 8 de Jul. 2019.

KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimate**. Berlin: Gerbrüder Bornträger, 1936. 44 p.

MELO, E. A.; CALEGARIO, N.; MENDONÇA, A. R.; POSSATO, E. L.; ALVES, J. A.; ISAAC JÚNIOR, M. A. Modelagem não linear da relação hipsométrica e do crescimento das árvores dominantes e codominantes de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1325-1338, 2017.

MENDONÇA, A. R.; CALEGARIO, N.; SILVA, G. F.; SOUZA, A. L.; TRUGILHO, P. F.; CARVALHO, S. P. C.; POSSATO, E. L. Modelagem da produção de sortimentos em povoamento de eucalipto. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 587-594, 2014.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018.