

FUNÇÕES LOGARÍTMICAS NA DESCRIÇÃO DA ALTURA DE MUDAS DA ESPÉCIE *Spathodea campanulata* (BIGNONIACEAE)

Fernanda Marques Castro, Lucas Aguiar da Silva, Eliene Moraes Afonso, Luís Henrique de Andrade Guimarães, Ana Flávia Andrade Leão, Kamila Ariele Moreira Moura, Bruno Oliveira Lafetá

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais / Departamento de Engenharia Florestal, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro - 39705-000 - São João Evangelista-MG, Brasil, fernandamarquesifmg@gmail.com, lukasaguiar1409@gmail.com, elyenemorais28@gmail.com, andraderick2010@gmail.com, branca8vl@gmail.com, kamilamoura800@gmail.com, bruno.lafeta@ifmg.edu.br.

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes funções logarítmicas de densidade probabilística para modelar a distribuição da altura de mudas seminais da espécie *S. campanulata*. A amostragem foi conduzida no viveiro de mudas do Instituto Federal de Minas Gerais, no município de São João Evangelista. Mensurou-se a altura total de 49 mudas aleatórias com auxílio de régua milimetrada. Calculou-se a assimetria dos dados pelo método dos momentos. As funções testadas para a modelagem da distribuição de altura foram: Log-logística de 2 parâmetros (Log-logística 2P) e Log-normal. A distribuição de altura exibiu leve tendência à assimetria negativa, com um coeficiente igual a -0,1910. A função Log-logística apresentou menor valor da raiz quadrada do erro médio e o maior coeficiente de correlação. Conclui-se que a função Log-logística de dois parâmetros se mostrou adequada para a modelagem da distribuição de altura das mudas de *S. campanulata*.

Palavras-chave: Frequência. Modelagem. Mudas. Tamanho.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônoma / Engenharia Florestal.

Introdução

Spathodea campanulata Beauv. (Bignoniaceae), conhecida popularmente como espatódea, é uma espécie arbórea amplamente utilizada na medicina popular africana (malária, diabetes, úlceras estomacais, feridas, infecções de pele e doenças virais) e paisagismo em zonas urbanas (Padhy, 2021). Além disso, tem sido plantada para fins ecológicos, madeireiros e cercas vivas (Padhy, 2021; Arboitte *et al.*, 2023).

A qualidade da produção de mudas é essencial para o sucesso do plantio e estabelecimento vegetal. O fornecimento de informações detalhadas sobre a distribuição do tamanho de mudas subsidia o planejamento logístico e comercial em viveiros florestais (Lafetá *et al.*, 2018). Distribuições biométricas são tradicionalmente modeladas empregando Funções de Densidade Probabilística (FDP). Essas funções descrevem a probabilidade de uma variável aleatória contínua assumir um valor dentro de um intervalo específico de tamanho.

Funções logarítmicas se caracterizam pela flexibilidade na descrição de distribuições com diferentes graus de assimetria. As funções Log-logística e Log-normal são exemplos bastante difundidos na modelagem de distribuições biométricas no setor florestal e estão disponíveis nos pacotes "actuar" (Dutang *et al.*, 2008) e "fitdistrplus" (Delignette-Muller; Dutang, 2015) do software R (R Core Team, 2024).

Mediante exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes funções logarítmicas de densidade probabilística para modelar a distribuição da altura de mudas seminais da espécie *S. campanulata*.

Metodologia

O trabalho foi conduzido no viveiro de mudas do Instituto Federal de Minas Gerais, no município de São João Evangelista – MG. O clima da região é do tipo Cwa (temperado chuvoso- mesotérmico) pela classificação do sistema internacional de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco. As médias anuais de temperatura e precipitação são de 21,2º C e 1.000 mm, respectivamente (Climate.Data.Org, 2024).

A rotina comercial da produção de mudas de espécies florestais no viveiro envolve o sistema de canteiro suspenso, em tubetes de 180 cm³, preenchidos com uma mistura de terra de subsolo, moinha de carvão e esterco bovino curtido na proporção de 3:1:1. O tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com o horizonte A proeminente. A irrigação é realizada quatro vezes ao dia com duração de 15 minutos, sendo empregado bicos aspersores com vazão de 54 L h⁻¹;

Mensurou-se a altura total de 49 mudas aleatórias de *S. campanulata* em julho de 2024, com auxílio de régua milimetrada. Calculou-se a assimetria dos dados pelo método dos momentos. Os dados foram agrupados em classes biométricas com intervalos regulares de 2 cm de altura. As funções testadas para a modelagem da distribuição de altura foram: Log-logística de 2 parâmetros (Log-logística 2P) e Log-normal. Todas as funções foram ajustadas pelo método da máxima verossimilhança. As FDP estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Funções de densidade probabilística testadas para a modelagem da distribuição de altura das mudas de *S. campanulata*, produzidas em casa de vegetação em São João Evangelista-MG.

Nome	Função densidade de probabilidade
Log-logística 2P	$f(x) = \frac{\gamma \left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma}{x \left[1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma\right]^2}$
Log-normal	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}$

x = centro de classe biométrica, $x \geq 0$; β = parâmetro de escala, $\beta > 0$; γ = parâmetro de forma, $\gamma > 0$; μ = média (parâmetro locação); σ = desvio padrão (parâmetro escala); e = constante neperiana; e π = 3,14159265359...

Fonte: os autores.

A qualidade dos ajustes foi avaliada de acordo com os valores da Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM), Média dos Desvios Absolutos (MDA) e coeficiente de correlação de Pearson ($r_{Y\hat{Y}}$). Baixos valores de RQEM e MDA, além de altos valores de $r_{Y\hat{Y}}$, implicam em melhor qualidade preditiva. A aderência das funções aos dados observados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Gibbons; Subhabrata, 1992). Complementarmente, realizou-se a análise gráfica entre valores observados e estimados pelas equações obtidas.

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R versão 4.4.1 (R Core Team, 2024), ao nível de significância de 1,0%.

Resultados

A altura total das mudas de *S. campanulata* variou de 21,3 a 35,3 cm. Os ajustes das funções apresentaram poucos desvios, com baixos valores de RQEM e MDA (Tabela 2). Os coeficientes de correlação, entre frequências estimativas e observadas de altura, foram altos e significativos ($r_{Y\hat{Y}} > 0,89$; $p \leq 0,01$). A função Log-logística apresentou valores de RQEM e coeficiente de correlação que corresponderam à qualidade preditiva um pouco superior em relação à outra função de densidade probabilística avaliada.

Tabela 2 - Coeficientes e qualidade de ajuste das funções densidade de probabilidade para a modelagem da distribuição de altura das mudas de *S. campanulata*, produzidas em casa de sombra em São João Evangelista-MG

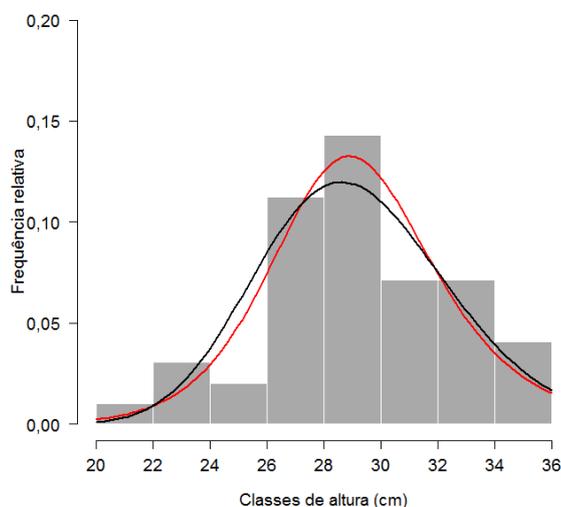
Funções	Coeficientes		RQEM	MDA	$r_{\gamma\hat{\gamma}}$
Log-logística 2P	$\gamma = 15,3894$	$\beta = 29,1448$	0,0822	0,0669	0,9125**
Log-normal	$\mu = 3,3678$	$\sigma = 0,1156$	0,0846	0,0692	0,8843**

RQEM = raiz quadrada do erro médio; MDA = média dos desvios absolutos e; $r_{\gamma\hat{\gamma}}$ = coeficiente de correlação de Pearson. **significativo a 1% de probabilidade pelo teste *t*.

Fonte: os autores

Todas as funções ajustadas exibiram aderência aos dados observados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,01$), com valor da estatística *dn* de 0,50. A distribuição de altura exibiu leve tendência à assimetria negativa, com um coeficiente de assimetria igual a -0,1910. O histograma de frequências resultante revelou uma curva que se assemelhou à forma de um sino (Figura 1).

Figura 1 – Frequência relativa hipsométrica observada e estimada pelas funções de densidade probabilística para a modelagem da distribuição de altura das mudas de *S. campanulata*, produzidas em casa de sombra em São João Evangelista-MG. Vermelho = Função Log-logística; Preto = Função Log-normal.



Fonte: os autores.

Discussão

Estimativas precisas da distribuição de frequências biométricas requer uma criteriosa seleção de funções de densidade probabilística, considerando aspectos estatísticos e biológicos (Campos; Leite; 2017). As funções logarítmicas avaliadas se aderiram à frequência hipsométrica observada, demonstrando desempenho preditivo satisfatório (Tabela 1), especialmente porque o lote de mudas da espécie *S. campanulata* provinha de propagação seminal. Enfatiza-se que eventuais variações na produção de mudas por meio de sementes em ambiente controlado podem ser influenciadas principalmente pela variabilidade genética (Taiz; Zeiger, 2013).

A função Log-logística descreveu a distribuição hipsométrica das mudas de *S. Campanulata* com um pouco mais de acurácia em comparação com aquela Log-normal (Tabela 1 e Figura 1). Essa superioridade se relacionou à flexibilidade da função Log-logística em capturar as nuances de assimetria e cauda da distribuição de altura das mudas. Mudas com taxas de crescimento lento requerem mais tempo para atingir padrões específicos de qualidade. Decisões sobre investir no crescimento dessas mudas ou expedí-las imediatamente devem ser tomadas com cautela, considerando as exigências do mercado e a disponibilidade de insumos. A estimativa da frequência em classes de maior tamanho permite o planejamento quantitativo de mudas que devem ser destinadas a tratamentos silviculturais específicos, visando sua utilização na arborização urbana (Lafeté *et al.*, 2018). Essas mudas de maior porte possuem maior valor agregado.

A distribuição hipsométrica demonstrou ser um indicador confiável de estoque de crescimento, com potencial para planejar e gerenciar a produção de mudas, oferecendo informações valiosas para a definição de estratégias silviculturais e logísticas em viveiros. É conveniente destacar que avanços na ciência da computação têm simplificado o procedimento de ajuste de distribuições biométricas, facilitando a escolha da função mais adequada para um determinado conjunto de dados.

Conclusão

A função Log-logística de dois parâmetros se mostrou adequada para a modelagem da distribuição de altura das mudas de *S. campanulata*.

Referências

ARBOITTE, M. Z.; RIBEIRO, T. B.; ALMEIDA, E. V.; ANASTÁCIO, M. D.; PEREIRA, V. A.; PEREIRA, E. T. Ocorrência de *Spathodea Campanulata* no município de Santa Rosa do Sul-SC. **ScientiaTec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS**, v. 10, n. 1, p. 40-51, 2023.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa: UFV. 2017. 636p.

CLIMATE-DATA.ORG. Clima: São João Evangelista. Disponível em: <<https://en.climate-data.org/south-america/brazil/minas-gerais/sao-joao-evangelista-175926/>>. Acesso em: 01 ago. 2024.

DELIGNETTE-MULLER, M.L., DUTANG, C. fitdistrplus: an R package for fitting distributions. **Journal of Statistical Software**, v. 64, n. 4, p. 1-34, 2015.

DUTANG, C.; GOULET, V.; PIGEON, M. **actuar**: An R package for actuarial science. **Journal of Statistical Software**, v. 25, p. 1-37, 2008.

GIBBONS, J. D.; SUBHABRATA, C. **Nonparametric statistical inference**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, 1992. 544p.

LAFETÁ, B.O.; RODRIGUES, R.; PENIDO, T. M. A.; LAGE, P. Modeling of hypsometric distribution of *Handroanthus heptaphyllus* seedlings in different containers. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 37, p. 1915-1923, 2018.

PADHY, G. K. *Spathodea campanulata* P. Beauv. – A review of its ethnomedicinal, phytochemical, and pharmacological profile. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 11, n. 12, p. 17-44, 2021.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) pelo apoio logístico e estrutural para a realização do presente projeto de pesquisa.