

# Ajustes de modelos volumétricos para *Pinus taeda* L. em Enéas Marques (PR)

*Adjustment of volumetric models for Pinus taeda L. in Enéas Marques (PR)*

Kemely Alves **ATANAZIO**<sup>1,5</sup>; Elisabete **VUADEN**<sup>2</sup>; Sandra Mara **KREFTA**<sup>2</sup>; Luis P. B. **SCHORR**<sup>3</sup>; Gabriela Oliveira **SILVA**<sup>4</sup> & Sandiane Carla **KREFTA**<sup>4</sup>

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo ajustar duas equações volumétricas, sendo uma em função do diâmetro e altura e outra em função da idade, para *Pinus taeda* L. no município de Enéas Marques, Paraná. Para tanto, a coleta de dados consistiu na realização de cubagem rigorosa e análise completa de tronco em 16 árvores. Posteriormente, realizou-se a modelagem com o uso de sete modelos volumétricos em função de diâmetro e altura e cinco modelos em função da idade. As equações de volume que melhor se ajustaram aos dados foram, respectivamente,  $v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 \cdot h$  e  $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln t + \beta_2 \cdot t$ .

**Palavras-chave:** cubagem; espécie exótica; volumetria.

Recebido em: 13 mar. 2019  
Aceito em: 9 jun. 2020

## ABSTRACT

This work aimed to adjust two volumetric equations, one according to diameter and height and the other according to age, for *Pinus taeda* L. in the municipality of Enéas Marques, Paraná. For this purpose, data collection consisted of rigorous cubing and complete trunk analysis on 16 trees. Subsequently, modeling was performed using seven volumetric models based on diameter and height and five models based on age. The volume equations that best fit the data were respectively,  $v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 \cdot h$  e  $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln t + \beta_2 \cdot t$ .

**Keywords:** cubing; exotic species; volumetry.

## INTRODUÇÃO

Conforme a produção florestal cresce, surge também a necessidade de os elementos provenientes dessa produção serem quantificados, o que auxilia na qualificação do potencial dos povoamentos homogêneos (ARANDA *et al.*, 2005). Para realizar essa mensuração qualitativa e quantitativa, foram desenvolvidos alguns métodos, entre os quais se destaca o inventário florestal (OLIVEIRA, 2010).

No inventário florestal medem-se as variáveis altura e diâmetro de determinadas árvores e, com base em tais variáveis, é possível estipular o volume de uma árvore (MAINARDI *et al.*, 1996). O volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento sobre uma floresta, e o volume individual das árvores fornece dados que permitem avaliar o potencial produtivo das florestas e o estoque de madeira (THOMAS *et al.*, 2006).

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa (UFV), Departamento de Engenharia Florestal, Avenida P. H. Rolfs, s/n.º, Campus Universitário, Edif. Reinaldo de Jesus Araújo – CEP 36570-900, Viçosa, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento de Engenharia Florestal, Dois Vizinhos, PR, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Lavras (Ufla), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lavras, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc), Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, SC, Brasil.

<sup>5</sup> Autor para correspondência: kemely\_alves@hotmail.com.

O crescimento e a produção presente e futura de árvores em povoamentos florestais são elementos fundamentais para o manejo florestal sustentável, tornando-se necessário possuir informações sobre a existência de relações quantitativas e modelos matemáticos que sejam consistentes e numericamente compatíveis, para a predição do desenvolvimento do povoamento em qualquer idade (SCOLFORO, 1994b). Por meio da análise completa de tronco, consegue-se saber o crescimento em volume da árvore em cada ano (MACHADO *et al.*, 2013).

O crescimento em volume é definido como o aumento deste em um determinado período e é avaliado calculando-se a diferença entre os volumes que a árvore teria no início e no fim do período (ENCINAS *et al.*, 2005). Os volumes reais dos povoamentos florestais são obtidos empregando-se um procedimento que seja capaz de proporcionar uma grande acuracidade do valor paramétrico do volume da árvore ou de parte dela (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Ainda de acordo com Machado & Figueiredo Filho (2009), trata-se de valores obtidos com rigor e, por isso, recebem a denominação de volume rigoroso, sendo um dos métodos para encontrar o volume real de uma árvore por meio da cubagem rigorosa, em que as árvores cubadas se destinam para o estudo de fatores de forma ou para o desenvolvimento de equações de volume ou funções de afilamento.

Segundo Conceição (2004), o volume das árvores tem sido estimado com certa facilidade e acuracidade por meio de equações de volume, ajustadas quase sempre por medições do diâmetro à altura do peito e da altura total.

Quanto à utilização das equações volumétricas para a quantificação da produção em volume dos povoamentos florestais, Thomas *et al.* (2006) comentam que esses modelos são muito eficientes, porém nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições.

Segundo Scheeren (2003), para estimativas de crescimento e de produção em longo prazo, bem como para estimativas correntes, visando indicar a melhor opção entre diferentes tratamentos, é mais indicado o uso de modelos ou sistemas de predição que, além de apontar opções silviculturais, servem para atualizar os inventários florestais. Os modelos ou sistemas de predição compreendem um conjunto de relações matemáticas que podem ser apresentadas na forma de tabelas, sendo utilizadas para descrever quantitativamente os povoamentos.

Apesar de existirem estudos de modelos volumétricos para *Pinus taeda* L., ainda são raros os trabalhos com a espécie na região sudoeste do Paraná, que nos últimos anos tem apresentado crescente evolução no que diz respeito à área plantada florestal. Nesse contexto, a presente pesquisa objetivou ajustar equações volumétricas com dados de cubagem e análise completa de tronco, para um povoamento de *Pinus taeda* L. localizado no município de Enéas Marques, no estado do Paraná, Brasil.

## MATERIAL E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em um povoamento de *Pinus taeda* L. no município de Enéas Marques, sudoeste do Paraná. A região possui clima Cfa, conforme classificação de Köppen, de transição subtropical úmido mesotérmico, verões quentes com temperatura média de 22°C e inverno com geadas pouco frequentes. Possui temperatura média inferior a 18°C, com as quatro estações do ano bem definidas, chuvas frequentes, sempre acima de 60 mm por mês, e com pluviosidade média anual de 1.800 a 2.000 mm (MAACK, 1981).

O solo predominante da região é classificado como nitossolo vermelho distroférico típico, sendo o terreno do povoamento pedregoso e com declividade média de 30% (EMBRAPA, 2007). O plantio florestal está situado entre as coordenadas 25°44'392" de latitude sul e 53°03'671" de longitude oeste de Greenwich, com altitude de 666 m em relação ao nível do mar.

O povoamento pertence a uma empresa do ramo florestal e foi implantado no período de abril a setembro de 2007, totalizando cinco meses, com espaçamento de 3,0 x 2,0 metros, totalizando 1.666 mudas/ha no plantio inicial, em uma área de 50 ha.

COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para a obtenção das variáveis dendrométricas, realizou-se um inventário florestal com 15 unidades amostrais de 600 m<sup>2</sup> (30 x 20 m) de área útil. O método de amostragem utilizado foi de área fixa, e o processo foi sistemático (SOARES *et al.*, 2012). Em cada parcela, foram mensuradas a circunferência à altura do peito (CAP) com auxílio de uma fita métrica tomada a 1,3 m de altura e a altura total com o hipsômetro Vertex. Após medição, o CAP foi transformado em diâmetro à altura do peito (DAP) em cm, por meio da seguinte fórmula:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad (1)$$

em que:

DAP = diâmetro à altura do peito;

CAP = circunferência à altura do peito;  $\pi = 3,1415$

Em seguida foram selecionadas, derrubadas e cubadas 16 árvores pelo método de Smalian (SOARES *et al.*, 2012), sendo esse grupo dividido em oito árvores médias e oito dominantes. Como critério de seleção de árvore média, foi considerado o indivíduo com diâmetro de área basal individual, na média aritmética da amostra. Para a seleção de árvore dominante, empregou-se o conceito de altura dominante de Assmann (1970), que considera o indivíduo com diâmetro médio aritmético das cem árvores mais grossas por hectare.

Para a realização da análise de tronco, utilizou-se a metodologia determinada por Finger (2006), tendo sido retiradas secções transversais do fuste, nas posições de 0,10 cm, 0,30 cm, 0,50 cm, 0,70 cm, 1,3 m e, a partir daí, de 1,0 em 1,0 m. Os diâmetros das secções foram medidos com suta, para o cálculo do volume de cada secção. Este último foi calculado em função do comprimento e das áreas basais das secções. Posteriormente, foi encontrado o volume do toco e do cilindro de cada árvore e somado com o volume do somatório das secções, obtendo assim o volume total de cada árvore. De posse dos volumes, ajustaram-se modelos volumétricos para a estimativa do volume das árvores de *Pinus taeda*, em função da altura e do diâmetro. Foram testados sete modelos matemáticos (SCHNEIDER & SCHNEIDER, 2008), descritos na tabela 1.

**Tabela 1** – Modelos de volume, em função do diâmetro e da altura, para *Pinus taeda*, em Enéas Marques (PR).

Equação	Modelo	Autores
1	$v = \beta_0 + \beta_1 * d + \beta_2 * d^2 h + \beta_3 * h$	Stoate
2	$v = \beta_0 + \beta_1 * d^2 h$	Spurr
3	$v = \beta_0 + \beta_1 * d + \beta_2 * d^2$	Hohenadl-Krenn
4	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 * \ln d + \beta_2 * \ln h$	Schumacher-Hall
5	$v = \beta_0 + \beta_1 * d^2$	-
6	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 * \ln d^2 h$	Spurr
7	$v = \beta_0 + \beta_1 * d + \beta_2 * d^2 + \beta_3 * dh + \beta_4 * d^2 h$	Meyer

em que:  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  = parâmetros dos modelos;  $\ln$  = logaritmo natural;  $h$  = altura total (m);  $d$  = diâmetro à altura do peito (cm);  $v$  = volume. Fonte: Schneider & Schneider (2008).

Para ajustar os modelos volumétricos em função da idade, fez-se a análise completa de tronco pelo método destrutivo (FINGER, 2006). Tal análise consiste em realizar o abate das árvores amostras, sendo estas desganhadas e marcadas nas posições 0,10 cm, 0,30 cm, 0,70 cm, 1,30 m e, a partir daí, de 1,0 em 1,0 m, retirando fatias transversais. Cada disco foi identificado com suas respectivas posições e levado para secagem em estufa, sendo, após a secagem, lixado. O lixamento teve como objetivo tornar os anéis mais visíveis e a superfície da fatia lisa, facilitando a contagem e a medição.

A medição dos anéis foi realizada em cada uma das fatias, por quatro raios, sendo o primeiro num ângulo de 45° partindo do maior raio da fatia, e os demais a 90° um do outro, traçados a

partir da medula. Os anéis foram identificados com auxílio de uma lupa e, em seguida, efetuou-se a medição da largura de cada anel, utilizando um escalímetro. Depois, estipulou-se a média aritmética dos raios, a qual fornece o estimador do raio ou diâmetro da fatia, em uma determinada idade, pela seguinte fórmula:

$$\text{diâmetro} = 2 * \text{raio médio} \quad (2)$$

De posse da altura total da árvore, das alturas das quais foram retiradas as fatias e das dimensões dos anéis, construiu-se o perfil longitudinal de cada árvore e determinou-se o quanto de volume ela teve em cada ano, e, com isso, ajustaram-se equações volumétricas em função da idade. Foram testados cinco modelos matemáticos que estimam o volume (FINGER, 2006) (tabela 2).

**Tabela 2** – Modelos matemáticos testados para o crescimento do volume em função da idade para *Pinus taeda* em Enéas Marques (PR).

Equação	Modelo	Autores
1	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{t}$	Schumacker
2	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 * \ln t + \beta_2 * \ln^2 t$	Backman
3	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{t} + \beta_2 * \ln t$	Hoerl
4	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 * t + \beta_2 * t^2 + \beta_3 * t^3$	Moissev
5	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 * \ln t + \beta_2 * t$	Gram

em que:  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  e  $\beta_4$  = parâmetros dos modelos; ln = logaritmo natural; v = volume; t = idade em anos. Fonte: Finger (2006).

Após a coleta, os dados foram analisados no pacote estatístico SAS (Statistical Analysis System) versão 9.2 e Microsoft Office Excel® 2010.

Para o ajuste da regressão que estima a altura total e o volume, empregou-se o procedimento PROC REG.

Os parâmetros estatísticos para a escolha do melhor modelo matemático foram: menor coeficiente de variação (CV%), maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e maior valor de F calculado. Também se analisou a melhor distribuição dos resíduos no gráfico.

O coeficiente de variação (CV%) é uma medida de variabilidade relativa, utilizada para comparar duas ou mais distribuições, e, quanto menor, melhor e mais preciso é o modelo (MUCELIN, 2006).

Pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), verifica-se a quantidade da variação total explicada pela regressão. Como o coeficiente de determinação cresce à medida que se inclui uma nova variável ao modelo matemático, aplicou-se o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), para o número de coeficientes da equação, e, quanto mais próximo de 1 o valor, melhor será o ajuste (SCHNEIDER, 1998).

O erro padrão da estimativa tem como objetivo identificar quão próximos os valores estimados ficaram dos valores observados, e, quanto menor, melhor será o modelo (JESUS *et al.*, 2015).

Para o F calculado, quanto maior o valor, melhor o ajuste (MUCELIN, 2006). Ainda de acordo com o mesmo autor, a distribuição dos resíduos tem como objetivo verificar se o modelo selecionado pelo *ranking* do menor valor apresenta alguma tendência na estimativa da variável dependente altura.

Elaborou-se um *ranking* entre os valores de cada critério estatístico analisado, e, dentro de cada condição, o melhor valor recebeu nota 1, seguindo por notas superiores (2, 3...) até o pior valor de cada condição. Após a produção do *ranking*, os valores das notas foram somados em cada modelo, e o melhor modelo testado foi aquele que obteve o menor somatório de notas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### AJUSTE DA EQUAÇÃO QUE ESTIMA O VOLUME EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO E DA ALTURA

Na tabela 3 estão apresentadas as estatísticas dos sete modelos testados para descrever o volume de *Pinus taeda* em função do diâmetro à altura do peito e altura. As equações estudadas apresentaram um coeficiente de determinação ajustado maior que 0,76, um coeficiente de variação entre -8,71 e 21,05% e valores da estatística F de 46,20 a 154,30, sendo significativo no nível de 1% e 5% de probabilidade.

A análise das estatísticas mostra que as equações 2, 6 e 7 são válidas para descrever o crescimento em volume para o conjunto de dados, pois obtiveram boas estatísticas.

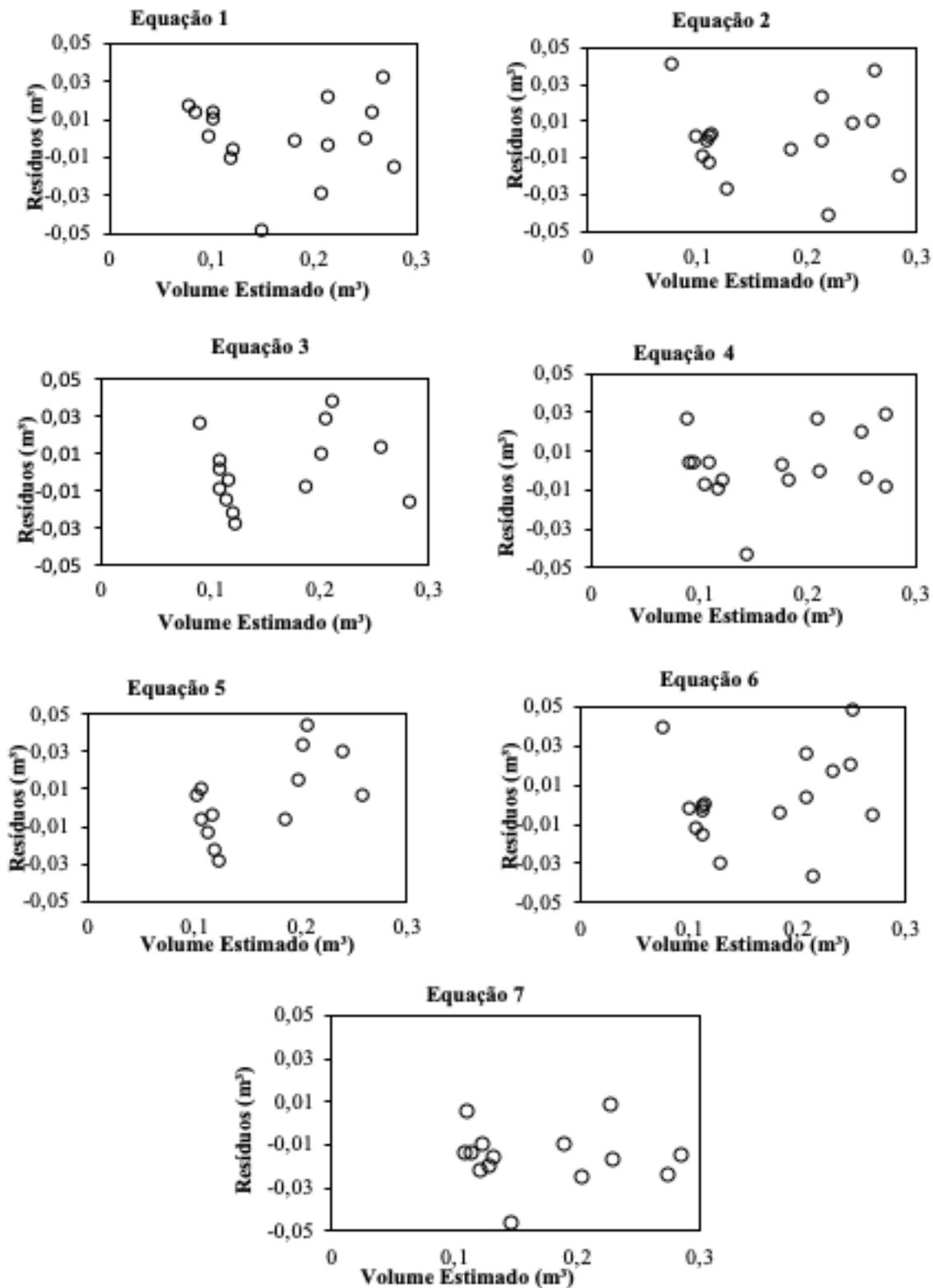
**Tabela 3** – Parâmetros das equações testadas para estimar o volume do diâmetro e altura para *Pinus taeda* em Enéas Marques (PR).

Eq.	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	CV%	F	Syx	β <sub>0</sub>	β <sub>1</sub>	β <sub>2</sub>	β <sub>3</sub>	β <sub>4</sub>
1	0,908	13,04	50,9	0,02	-0,14094	-0,00898	0,00062	0,02389	
2	0,91	12,9	154,3	0,02	0,01632	0,00004			
3	0,762	21,05	25,12	0,03	0,25368	-0,00973	0,00136		
4	0,897	-7,49	66,53	0,13	-9,47088	1,3201	0,159832		
5	0,766	20,88	50,32	0,03	-0,00167	0,00052			
6	0,861	-8,7	94,04	0,16	-8,60498	0,83084			
7	0,934	10,7	58,44	0,01	0,16028	-0,00111	-0,0006884	-0,00115	0,00012

em que: R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; F = valor de f calculado; Syx: erro padrão em m<sup>3</sup>; β<sub>0</sub>, β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub>, β<sub>3</sub> e β<sub>4</sub> = parâmetros dos modelos.

A equação 2 foi a que apresentou as melhores estatísticas e também a melhor distribuição dos resíduos, com CV% de 12,9, R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> de 0,91, valor de F calculado de 154,3, valor de β<sub>0</sub> de 0,01632, β<sub>1</sub> de 0,00004114, sendo escolhida para estimar o volume em função do diâmetro e da altura.

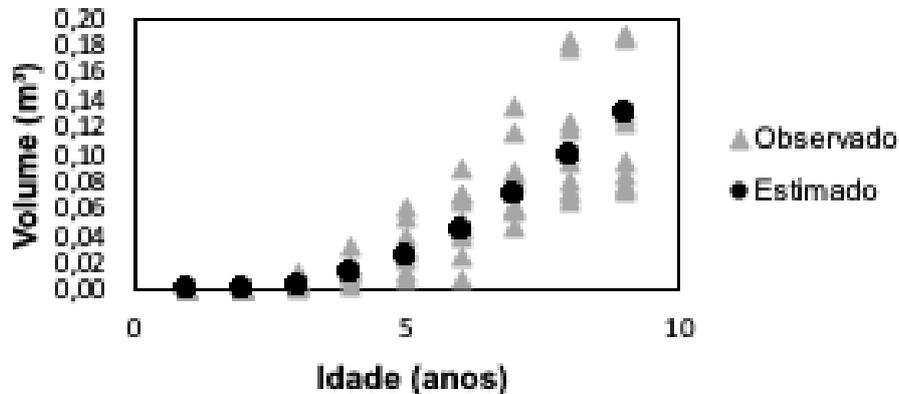
Na figura 1 estão apresentados os gráficos dos resíduos dos sete modelos ajustados para estimar o volume em função do diâmetro e da altura, em que se verifica que quase todas as equações tiveram uma boa distribuição dos resíduos.



**Figura 1** – Resíduos das equações do volume em função do diâmetro à altura do peito e da altura para *Pinus taeda* em Enéas Marques (PR).

A análise gráfica de dispersão de resíduos, entre os valores observados e estimados, mostrou que a equação 2 apresenta distribuição satisfatória para o conjunto de dados entre as equações testadas, evidenciando a seleção do modelo.

Esse fato pode ser constatado também pela relação entre o volume observado e o volume estimado. A figura 2 mostra a boa sobreposição dos valores observados e estimados em toda a amplitude dos dados.



**Figura 2** – Distribuição dos valores observados e estimados com base na equação  $v = \beta_0 + \beta_1 * d^2h$  para *Pinus taeda* em Enéas Marques (PR).

Stepka *et al.* (2017), testando três modelos volumétricos para plantio de *Pinus taeda* localizado em Ponta Grossa (PR), entre eles aquele com melhor ajuste no presente trabalho ( $v = \beta_0 + \beta_1 * d^2h$ ), encontraram valores de  $R^2_{aj}$  (0,9456) e  $S_{xy}$  (0,02 m<sup>3</sup>), resultado ligeiramente superior ao verificado no presente estudo.

Percebe-se que os resultados observados para o modelo volumétrico com melhor desempenho estatístico estão coerentes em relação aos encontrados em outras pesquisas para a mesma espécie, com valores altos de  $R^2_{aj}$  e baixos de  $S_{xy}$ .

Thomas *et al.* (2006) fizeram a comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco, no município de Ponte Alta do Norte (SC), estudo realizado com 240 árvores cubadas com casca, em diferentes idades, em que foram testados nove modelos. Aquele que melhor se ajustou para os dados de volume com casca e sem casca foi a equação  $lnv = \beta_0 + \beta_1 \cdot lnd + \beta_2 \cdot ln h$ , com coeficiente de determinação ajustado igual a 0,9929, erro padrão de 0,0970, coeficiente de variação de -20,98% e F calculado de 15.951,6, apresentando coeficientes:  $\beta_0$  de -10,2077,  $\beta_1$  de 1,87512 e  $\beta_2$  de 1,14843.

Machado *et al.* (2002), ao realizarem uma comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbaste, utilizaram 1.100 árvores distribuídas em 11 regimes de manejo pertencentes à empresa Duraflora S.A., do município de Agudos (SP). Nesse estudo, a equação que melhor se ajustou aos dados foi  $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 d^2 + \beta_4 d^2 h + \beta_5 d h$ , com valor de coeficiente de determinação ajustado de 0,87, erro padrão de 11,02 e F calculado de 102,60.

Floriano (2004) estimou o volume de *Pinus elliottii* Engelm. aplicando a equação de Stoate, representada por  $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h$ , que apresentou boa distribuição de resíduos, coeficiente de variação de 10,8% e coeficiente de determinação ajustado de 0,91.

AJUSTE DA EQUAÇÃO QUE ESTIMA O VOLUME EM FUNÇÃO DA IDADE

Os ajustes das equações de volume em função da idade, com base na análise de tronco, juntamente com suas estatísticas, estão representados na tabela 4.

**Tabela 4** – Parâmetros das equações testadas para estimar o crescimento em volume em função da idade para *Pinus taeda* em Enéas Marques (PR).

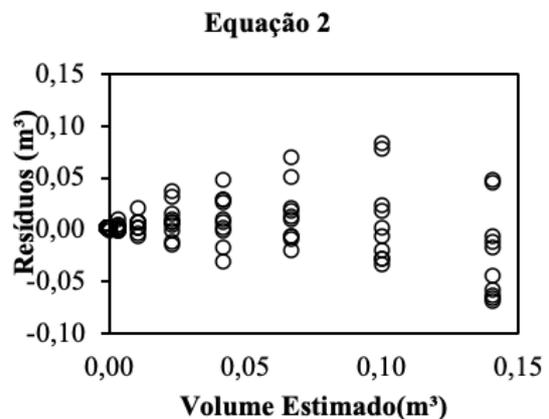
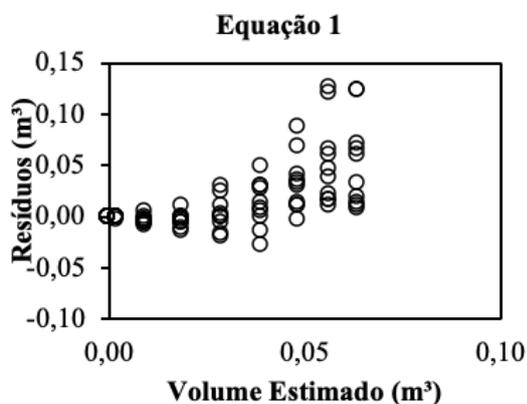
Equação	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	CV	F	Syx	β <sub>0</sub>	β <sub>1</sub>	β <sub>2</sub>	β <sub>3</sub>
1	0,85	21,42	536,35	0,97	-1,77041	-8,86413		
2	0,918	16,17	504,01	0,73	-9,99732	4,466673	-0,036754	
3	0,917	16,33	493,81	0,74	-8,37499	-1,57972	3,03365	
4	0,922	15,76	355,76	0,71	-12,98271	3,54202	-0,41853	0,01764
5	0,92	16,01	515,19	0,72	-9,76297	-9,76297	-0,25226	

em que: R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; CV = coeficiente de variação em porcentagem; F = valor de f calculado; Syx: erro padrão; β<sub>0</sub>, β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub>, β<sub>3</sub> = parâmetros dos modelos.

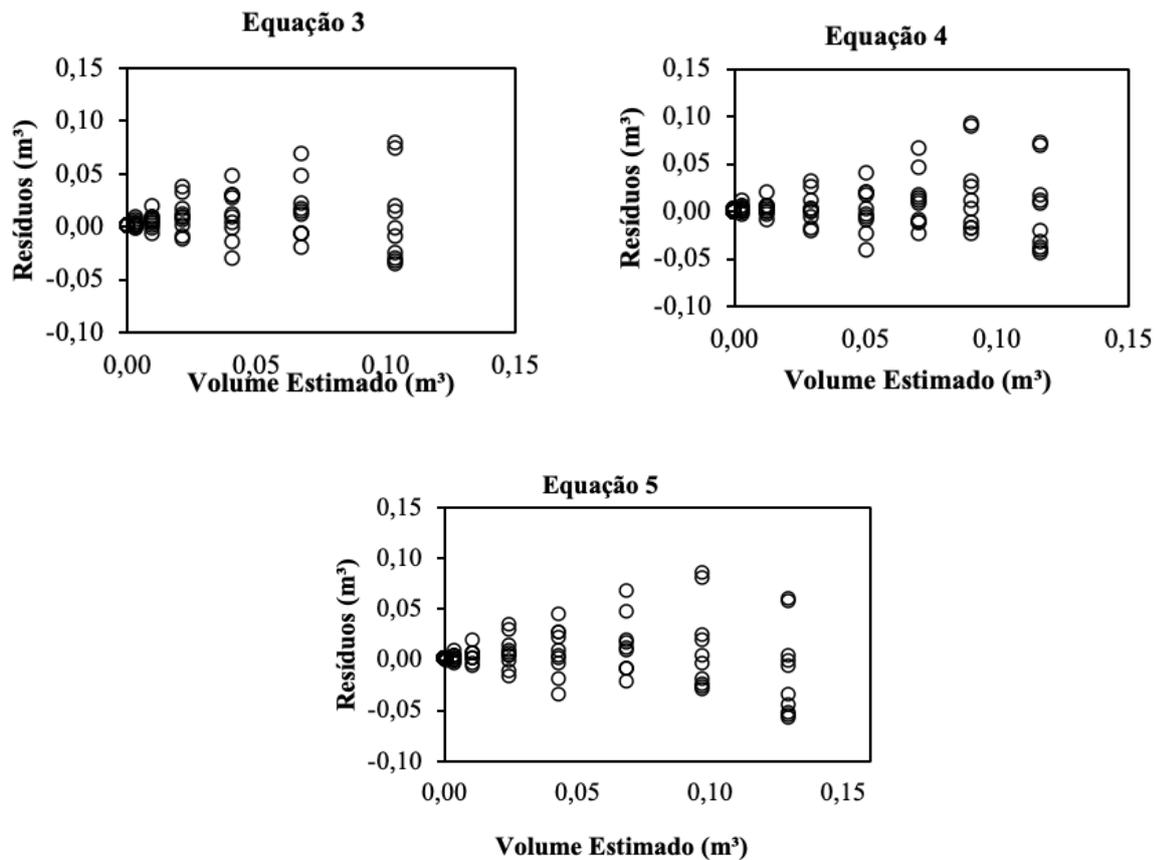
As equações apresentaram boas estatísticas, com valores de R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> entre 0,85 e 0,92, CV% entre 21,42 e 15,76 e F calculado entre 493,81 e 536,35. De acordo com os critérios de seleção, a equação escolhida para descrever o crescimento do volume em função da idade foi a equação 5, expressa por:  $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln t + \beta_2 \cdot t$ .

Os coeficientes β<sub>0</sub> e β<sub>1</sub> foram significativos no nível de 1% e 5% de significância, com valores de β<sub>0</sub> de -9,76297, β<sub>1</sub> de 4,54707 e β<sub>2</sub> de -0,25226, apresentando um R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> de 0,92, CV de 16,01% e F calculado de 515,19.

Na figura 3 estão apresentados os gráficos dos resíduos dos cinco modelos ajustados para estimar o volume em função da idade. Verifica-se que a equação escolhida (5), apesar de apresentar uma leve tendência de subestimar e superestimar os maiores volumes, foi a que melhor se comportou em relação às demais, considerando os critérios de escolha dos modelos.

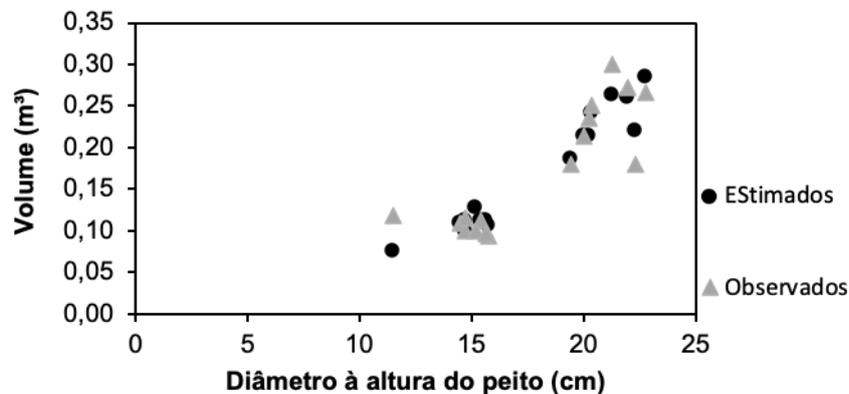


continua...



**Figura 3** – Resíduos das equações do crescimento em volume em função da idade para *Pinus taeda* em Enéas Marques (PR).

Na figura 4 está apresentada a distribuição dos valores observados e estimados para o volume. Schneider *et al.* (2014) estudaram o crescimento em volume de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em áreas arenizadas e degradadas no oeste do Rio Grande do Sul, onde testaram cinco modelos de crescimento em volume em função da idade e verificaram que o modelo de Backmann modificado (FINGER, 2006) foi o que apresentou melhores estatísticas para as duas espécies, com um maior  $R^2_{aj}$ , de 0,96, e um CV de 20,11%.



**Figura 4** – Distribuição dos valores observados e estimados com base na equação  $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln t + \beta_2 \cdot t$  para *Pinus taeda* em Enéas Marques (PR).

## CONCLUSÕES

O melhor modelo que ajusta o volume em função do diâmetro à altura do peito e da altura foi o modelo  $v=0,01632+0,00004114d^2h$ , com coeficiente de variação de 12,9, coeficiente de determinação ajustado de 0,91 e valor de F calculado de 154,3.

Para estimar o crescimento em volume em função da idade, o melhor modelo que se ajustou aos dados foi a equação 5, com os seguintes coeficientes –  $\beta_0$ : -9,76297,  $\beta_1$ : 4,54707,  $\beta_2$ : -0,25226, coeficiente de determinação ajustado de 0,92, coeficiente de variação de 16,01 e F calculado de 515,19.

## REFERÊNCIAS

Aranda, U. D., Anta, M. B., Dorado, F. C. & Gonzalez, J. G. A. Relación altura-diámetro generalizada para masa de *Pinus sylvestris* L. procedentes de repoblación en el noroeste de España. Revista Investigación Agraria. 2005; 14(2): 229-241.

Assmann, E. The principles of forest yield study. München: BLV; 1970. 490 p.

Conceição, M. B. Comparação de métodos de estimativas de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden [Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2004.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Mapa: Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Escala: 1:250.000. 2007. [Acesso em: 22 mar. 2020]. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/339505/93/MI511.pdf>.

Encinas, J. I., Silva, G. F. & Pinto, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. Comunicações Técnicas Florestais. 2005; 7(1): 25.

Finger, C. A. G. Biometria florestal. Santa Maria: UFSM/Cepef/Fatec; 2006. 283 p.

Floriano, E. P. Efeito da desrama sobre o crescimento e a forma de *Pinus elliottii* Engelm [Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2004.

Jesus, C. M., Miguel, E. P., Azevedo, G. B., Azevedo, G. T. O. S. & Pereira, R. S. Modelagem hipsométrica em povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* no Distrito Federal. Enciclopédia Biosfera. 2015; 11(21): 1298-1308.

Maack, R. Geografia física do estado do Paraná. Rio de Janeiro: José Olympio; 1981. 153 p.

Machado, S. A. & Figueiredo Filho, A. Dendrometria. Guarapuava: Unicentro; 2009. 316 p.

Machado, S. A., Silva, L. C. R., Jaskiu, E. & Cavalheiro, R. Comparação entre análise de tronco digital e convencional em árvores de *Mimosa scabrella* Bentham e *Pinus taeda* L. Revista Árvore. 2013; 37(2): 329-337.

Machado, S. A., Urbano, E. & Conceição, M. B. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. Ciências Exatas e Naturais. 2002; 4(2): 185-197.

Mainardi, G. L., Schneider, P. R. & Finger, C. A. G. Produção de *Pinus taeda* L. na região de Cambará do Sul, RS. Ciência Florestal. 1996; 6(8): 36-52.

Mucelin, C. A. Estatística elementar e experimental aplicada às tecnologias. Medianeira: Editora Valério; 2006. 245 p.

Oliveira, M. M. Tamanho e forma de parcela para inventários florestais de volume de madeira e estoque de carbono de espécies arbóreas da Amazônia Central [Dissertação de Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais]. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia; 2010.

SAS. The SAS System for Windows. Copyright © 1999-2001 by SAS Institute Inc. Cary, NC, USA; 1999.

Scheeren, L. W. Estruturação da produção de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith manejados em alto fuste. Ciência Florestal. 2003; 13(2): 195-196.

Schneider, P. R. Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal. Santa Maria: UFSM; 1998. 236 p.

Schneider, P. R., Elesbão, L. E. G., Schneider, P. S. P. & Longui, R. V. Crescimento em diâmetro de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em áreas arenizadas e degradadas no oeste do Rio Grande do Sul. Ciência Rural. 2014; 44(9): 1561-1567.

DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130744>

Schneider, P. R. & Schneider, P. S. P. Introdução ao manejo florestal. Santa Maria: Facos/UFSM; 2008. 566 p.

Scolforo, J. R. S. Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal: Parte 1. Lavras: Esal/Faepe; 1994a. 182 p.

Scolforo, J. R. S. Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal. Lavras: Faepe; 1994b. 393 p.

Soares, C. P. B., Paula Neto, F. P. & Souza, A. L. Dendrometria e inventário florestal. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2012. 272 p.

Stepka, T. F., Zeny Junior, G. A., Lisboa, G. S., Cerqueira, C. L., Pesck, V. A. & Roik, M. Modelos volumétricos e funções de afilamento para *Pinus taeda* L. na região dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. Espacios. 2017; 38(21): 26-34.

Thomas, C., Andrade, C. M., Schneider, P. R. & Finger, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. Ciência Florestal. 2006; 16(3): 319-327.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050981911>