ARTIGO ORIGINAL

Quantificação do fator de forma por meio de diferentes métodos de cubagem em *Pinus taeda* L.

Quantification of the form factor by volume calculation methods in Pinus taeda L.

Marcos Felipe Nicoletti¹ , Bruno de Almeida Lima¹ , Maria Elize Rodrigues Branco¹ ,
Thiago Floriani Stepka¹

¹Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, SC, Brasil

Como citar: Nicoletti, M. F., Lima, B. A., Branco, M. E. R., & Stepka, T. F. (2021). Quantificação do fator de forma por meio de diferentes métodos de cubagem em *Pinus taeda* L. *Scientia Forestalis*, 49(131), e3504. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n131.06>

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo a comparação de 5 métodos de cubagem, sendo eles Hohenadl 5 e 10 seções, Newton, Smalian e Huber em comparação com o xilômetro para a determinação do fator de forma das árvores nas idades de 9, 13 e 20 anos, além da determinação do fator de forma da primeira tora em dois diferentes comprimentos. O estudo foi realizado em uma empresa florestal do município de Ponte Alta do Norte/SC, sendo a base de dados foi composta por cerca de 30 árvores de cada uma das diferentes idades que foram submetidas a cubagem pelos diferentes métodos testados. Determinou-se o fator de forma para cada árvore cubada, o qual foi obtido pela relação entre o volume rigoroso e o volume do cilindro a 1,30 m das árvores cubadas. Para determinação do fator de forma da 1ª tora foram ajustados os modelos de afilamento de Kozak e Prodan considerando os comprimentos de 2,50 e 3,05 metros, que foram avaliados a partir da estatística de R^2 ajustado Syx%, também foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) para comparar os fatores de forma nas diferentes idades. Através da ANOVA foi detectada diferenças entre os fatores de forma dos métodos de cubagem nas idades 9 e 13, exceto na idade 20, e por meio do teste Dunnett os métodos Hohenadl 5 e Newton apresentaram igualdade de médias em relação ao Xilômetro, mas na idade 13 todos diferiram do Xilômetro. Em relação a idade 20 apesar da ANOVA não apontar diferenças, Smalian apresentou menor Desvio (%) com -3,56% e os demais tiveram maior tendência superestimativa. Para a determinação do fator de forma das árvores o modelo de Kozak teve melhor desempenho com relação os critérios estatísticos, obtendo um R^2 ajustado de 0,8293 e erro padrão da estimativa de 9,49%. O fator de forma da primeira tora apresentou média de 0,8136 e 0,8294 nos comprimentos 3,05 e 2,5 metros respectivamente. As estimativas de volume da primeira tora nos comprimentos avaliados pelo fator de forma e ajuste volumétrico do modelo de Kozak são satisfatórias, pois não diferiram estatisticamente. Para a idade 9 são indicados os fatores de forma dos métodos Hohenadl 5 e Newton, e Smalian para idade 20 por apresentaram resultados satisfatórios próximos dos valores do Xilômetro.

Palavras-chave: Floresta plantada; Pinheiro-americano; Manejo Florestal; Biometria florestal.

Abstract

The present work aims to compare 5 cubing methods, Hohenadl 5 and 10, Newton, Smalian and Huber in comparison with the xylometer to determine the shape factor of trees at the ages of 9, 13 and 20, in addition to the determination of the form factor of the first log into two different components. The study was carried out in a forest company in the municipality of Ponte Alta do Norte / SC, with a database consisting of about 30 trees each of different ages that were subjected to cubing by the different methods tested. The form factor for each cubed tree was determined and was obtained by comparing the strict

Fonte de financiamento: Nada a declarar.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: bruno.lima.stm@hotmail.com

Recebido: 28 outubro 2019.

Aceito: 25 novembro 2020.

Editor: Paulo Henrique Müller Silva.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

volume and the cylinder volume at 1.30 m from the cubed trees. To determine the form factor of the 1st point, Kozak's affiliation models and the product were defined considering the lengths of 2.50 and 3.05 meters, which were calculated from the adjusted R^2 statistic $Syx\%$; the Analysis of Variance (ANOVA) to compare form factors at different ages was also performed. Through ANOVA, differences between the form factors of the calculation methods were detected at ages 9 and 13, but not at age 20; and through Dunnett test, Hohenadl 5 and Newton methods with media statistics in relation to the Xylometer; but at age 13 it was different from the Xylometer. Regarding age 20, although ANOVA does not show differences, Smalian shows the smallest deviation (%) with -3.56% and the others had a overestimated higher tendency. To determine the shape factor of the trees or the Kozak model, it performed better in relation to the statistical criteria, yielding an adjusted R^2 of 0.8293 and standard error of estimate of 9.49%. The first log form factor shows an average of 0.8136 and 0.8294 in lengths of 3.05 and 2.5 meters respectively. The use of the volume of the first log of the purchased ones, the form factor and the volumetric adjustment of the Kozak model are satisfactory, as they do not differ statistically. For age 9, the form factors of the Hohenadl 5 and Newton methods are indicated, and Smalian for age 20 for satisfactory results close to the Xylometer values.

Keywords: Planted forest; American pine; Forest management; Forest biometrics.

INTRODUÇÃO

As Florestas plantadas existentes no Brasil atualmente totalizam cerca de 7,84 milhões de hectares. Os plantios de *Pinus* sp. ocupam 1,6 milhões de hectares desse total, sendo 34% concentrados no Estado de Santa Catarina (Indústria Brasileira de Árvores, 2019), que são destinados para atender a demanda crescente do mercado por produtos madeireiros contribuindo também para a redução da pressão sobre florestas nativas (Indústria Brasileira de Árvores, 2019; Lima et al., 2016).

O *Pinus taeda* L. é uma espécie originária do sudeste dos Estados Unidos e apresenta grande utilização no setor de laminação, serraria, construção civil, movelaria e compensados (Lima, 2015; Sampaio, 2014; Silvestre et al., 2014). No Brasil, se destaca devido à alta produtividade, atingindo incremento médio anual de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Ferreira, 2005; Kohler, 2013). Por isso a espécie ganha ainda mais importância na sua quantificação de volume que é primordial para seu manejo e comercialização.

A quantificação da variável volume é de extrema importância para os empreendimentos florestais, pois é através desta que se desenvolve o comércio de madeira, e o abastecimento da indústria do setor de florestas plantadas, por isso a precisão na quantificação dessa variável ganha importância nos inventários florestais (Ahrens, 1982; Scolforo & Mello, 1997). Porém a grande dificuldade é na sua determinação direta, pois requer uma amostragem rigorosa por técnicas e métodos destrutivos que demandam tempo/recurso, tornando esse processo caro (Sanquetta et al., 2014). Dessa forma é necessário utilizar métodos simples para esta estimativa. Uma das alternativas é utilizar o fator de forma (f) e seu cálculo se dá pela multiplicação de um valor médio obtido pela área seccional e altura da árvore (Sanquetta et al., 2017). O fator de forma corrige a conicidade relacionando o volume da madeira e o volume do cilindro (Thaines et al., 2010). Seu uso deve ser cuidadoso para não gerar estimativas equivocadas por isso a utilização indiscriminada desse método gera críticas, sendo recomendado apenas quando não há equações volumétricas disponíveis ou para dar agilidade aos cálculos que compõem inventário (Miguel et al., 2010; Sanquetta et al., 2016). A aplicação do fator de forma é indicada por idade, classe diamétrica, motivada pelas variações de forma com tais variáveis se comportam (Kohler, 2013).

A determinação do fator de forma da primeira tora é de suma importância para o planejamento florestal, visto que a conicidade mais elevada na primeira tora tem impacto direto na prognose do volume da mesma.

As serrarias da região serrana de Santa Catarina acabam por muitas vezes trabalhando com um valor fixo de fator de forma para árvores de diferentes idades podendo implicar em erros nos cálculos de volume por não levarem em consideração essas e outras características do fuste ou do povoamento onde atuam. Pertille et al. (2018) ressaltam que a exatidão das estimativas de volumes desempenha um papel importante na definição dos múltiplos usos

da floresta e contribuem para o planejamento e a sustentabilidade da produção, uma vez que informações imprecisas podem levar a empresa ou o produtor florestal a perdas. Há também a necessidade de analisar se fatores de forma obtido por diferentes métodos de cubagem geram valores similares, pois há poucos trabalhos relacionados a essa questão. Na prática é adotado bastante o método de cubagem Smalian para estudo do fator de forma (Drescher et al., 2001; Sanquetta et al., 2017).

O presente trabalho tem por objetivo a quantificação do fator de forma de *Pinus taeda* L. por cinco métodos de cubagem, comparando com os valores obtidos pelo xilômetro, em diferentes idades, e a determinação do fator de forma da primeira tora para a idade de 20 anos, por meio de funções de afilamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Área do estudo

O presente estudo foi desenvolvido em uma empresa do setor florestal localizada no município de Ponte Alta do Norte, região serrana do Estado de Santa Catarina, com latitude de 27° 09'45" Sul e longitude de 50°28'00" Oeste, estando a uma altitude de 1003 metros. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen-Geiger é Cfa subtropical úmido, com verões frescos, sem estações secas definidas, com a ocorrência de geadas severas. A temperatura média anual é de 16,8 °C e precipitação anual média de 1.740 mm (Alvares et al., 2013).

O solo do local de estudo é constituído das associações de Cambissolo Háplico alumínico. O relevo da região é forte ondulado, moderadamente drenado, sendo a vegetação primária composta por floresta subtropical perenifólia (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2004).

Os dados foram coletados em povoamento de *Pinus taeda* com as idades de 9, 13 e 20 anos, sendo que a escolha dos talhões para cada idade foi realizada de maneira aleatória, no qual possuíam espaçamentos iniciais de 2,5 m x 2,5 m. A idade de 9 anos não sofreu nenhuma intervenção silvicultural, o que totalizou 1600 indivíduos/ha, sendo que a idade de 13 anos sofreu dois desbastes, um aos oito anos e outro aos 12 anos, totalizando 600 indivíduos/ha. A terceira idade, 20 anos, sofreu os dois desbastes já citados além de mais um aos 16 anos, restando 400 indivíduos/ha.

Levantamento dos dados

Foram selecionadas 32 árvores para a idade de 9 anos, 34 para a idade de 13 anos e 32 árvores para a idade de 20 anos, as quais foram submetidas a cubagem por diferentes métodos, sendo posteriormente o tronco seccionado em toras para serem xilometradas. As árvores de cada idade foram mensuradas em 3 talhões diferentes, ressaltando que os talhões são adjacentes, pertencendo ao mesmo sítio e com iguais condições de solo.

Para o método de Smalian, foram medidos diâmetros a 0,1 m, 1,3 m, 3,3 m e assim sucessivamente de 2 em 2 m até a última secção do fuste de cada árvore para a obtenção do volume das árvores, sendo que para o método de Newton, os diâmetros foram medidos a 0,1 m, 0,7 m, 1,3 m, 2,3 m, e assim sucessivamente de 1,0 em 1,0 m até comprimento total. Para o método de Huber, os diâmetros foram medidos a 0,7 m, 1,3 m, 2,3 m, 4,30 e assim sucessivamente, de 2 em 2 metros até o comprimento da árvore.

Já para a cubagem relativa, o método de Hohenadl 5 seções, foram calculadas as percentagens 10%, 30%, 50%, 70% e 90% da altura da árvore e em seguida foram realizadas as medições dos diâmetros nas alturas correspondentes. Para o método de Hohenadl 10 seções, a mesma lógica foi utilizada, sendo mensurados os diâmetros nas posições de 5%, 15%, 25%, 35%, 45% e assim sucessivamente até 95% da altura total.

Determinação do fator de forma

As fórmulas utilizadas para a determinação do volume a partir dos diferentes métodos foram de acordo com Machado & Figueiredo Filho (2009), descritas a seguir:

- Cubagem pelo método de Smalian

$$v_i = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot l \quad (1)$$

em que: v = volume da tora/secção (m^3); g_1 = área transversal na base da secção i da tora (m^2); g_2 = área transversal no topo da secção i da tora (m^2); l = comprimento da tora em m ; i = número de secções da tora ($i = 1, 2, 3, \dots, n$).

- Cubagem pelo método de Huber

$$v = AS_{1/2} \cdot l \quad (2)$$

em que: $AS_{1/2}$ = área transversal (m^2) tomada na metade do comprimento da secção; l = comprimento da secção (m).

- Cubagem pelo método de Newton

$$v = \frac{AS_1 + 4 \cdot AS_{1/2} + AS_2}{6} \cdot l \quad (3)$$

em que: v = volume em m^3 ; AS_1 e AS_2 = áreas seccionais obtidas nas extremidades da secção (m^2); $AS_{1/2}$ = área seccional obtida na metade do comprimento da secção (m^2); l = comprimento da secção (m).

- Cubagem pelo método de Hohenadl (5 secções)

$$v = \frac{h}{5} \cdot (g_{0,15} + g_{0,35} + g_{0,55} + g_{0,75} + g_{0,95}) \quad (4)$$

em que: g = área transversal (m^2), obtida a 15, 35, 55, 75 e a 95% da altura total da árvore (h).

- Cubagem pelo método de Hohenadl (10 secções)

$$v = \frac{h}{10} \cdot (g_{0,05} + g_{0,15} + g_{0,25} + g_{0,35} + g_{0,45} + g_{0,55} + g_{0,65} + g_{0,75} + g_{0,85} + g_{0,95}) \quad (5)$$

em que: g = área transversal (m^2), obtida a 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 e a 95% da altura total da árvore (h).

Foi utilizado um xilômetro com capacidade de $3,3 m^3$, que foi calibrado e nivelado em campo de forma a apresentar estabilidade na determinação dos volumes das árvores, nos quais os mesmos foram determinados a partir da diferença entre o volume final e inicial do instrumento.

Foi determinado o fator de forma artificial das árvores, levando em consideração o diâmetro a altura do peito mensurado a 1,30 m do solo (DAP) para a base do cilindro de acordo com a fórmula abaixo.

$$f_{1,3} = \frac{v_{\text{rigoroso}}}{g_{1,3} \cdot h} \quad (6)$$

em que: v é o volume rigoroso cubado da árvore (m^3), $g_{1,3}$ é a área transversal do diâmetro à altura do peito (m^2), h é a altura total da árvore (m).

Fator de forma da 1ª tora

Para a determinação do fator de forma da primeira tora foi utilizado o método de cubagem que apresentou resultados mais semelhantes em comparação com o xilômetro para a idade de 20 anos. Foram ajustados os modelos de Kozak e Prodan para a estimativa do volume da primeira tora, considerando os comprimentos de 2,50 metros e 3,05 metros.

O ajuste volumétrico pelo modelo de Kozak está descrito abaixo.

$$v = \frac{\pi}{40000} * DAP^2 * \beta_0 (h_2 - h_1) + \frac{\beta_1 (h_2^2 - h_1^2)}{2h} + \frac{\beta_2 (h_2^3 - h_1^3)}{2h^2} \quad (7)$$

em que: DAP é o diâmetro à altura do peito a 1,30m (cm), β_n são os parâmetros do modelo, h_2 é a altura da parte superior da seção (m) e h_1 é a altura inferior da seção (m).

A integração utilizada do modelo de Prodan (Polinômio do 5º grau) encontra-se descrita pela seguinte fórmula.

$$v = \frac{\pi}{40000} * DAP^2 * \left[\frac{\beta_5 h_1}{1 h_1^{10}} + \frac{\beta_4 \beta_5}{5 h_1^9} + \frac{\left(\frac{2\beta_5 \beta_3}{h_1^8} + \frac{\beta_4^2}{h_1^8} \right) * h_1^9}{9} + \frac{\left(\frac{2\beta_3 \beta_4}{h_1^7} + \frac{2\beta_5 \beta_2}{h_1^7} \right) * h_1^8}{8} \right. \\ \left. + \frac{\left(\frac{2\beta_2 \beta_4}{h_1^6} + \frac{2\beta_5 \beta_1}{h_1^6} + \frac{\beta_3^2}{h_1^6} \right) * h_1^7}{7} + \frac{\left(\frac{2\beta_1 \beta_4}{h_1^5} + \frac{2\beta_3 \beta_3}{h_1^5} + \frac{2\beta_5 \beta_0}{h_1^5} \right) * h_1^6}{6} \right. \\ \left. + \frac{\left(\frac{\beta_2^2}{h_1^4} + \frac{2\beta_4 \beta_0}{h_1^4} + \frac{2\beta_1 \beta_3}{h_1^4} \right) * h_1^5}{5} + \frac{\left(\frac{2\beta_3 \beta_0}{h_1^3} + \frac{2\beta_3 \beta_2}{h_1^3} \right) * h_1^4}{4} + \frac{\left(\frac{\beta_2^2}{h_1^2} + \frac{2\beta_2 \beta_0}{h_1^2} \right) * h_1^3}{3} + \frac{\beta_0 \beta_1 h_1^2}{h_1} + \beta_0^2 h \right] \quad (8)$$

em que: DAP é o diâmetro à altura do peito a 1,30 (cm), β_n são os parâmetros do modelo, h_2 é a altura da parte superior da seção (m) e h_1 é a altura inferior da seção (m).

Para a seleção do melhor modelo matemático foram levados em consideração os seguintes parâmetros estatísticos: Coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) e Erro padrão da estimativa ($Syx\%$), sendo que o primeiro expressa a quantidade de variação total explicada pela regressão, no qual quanto mais próximo de 1, melhor o ajuste e é obtido pela fórmula abaixo.

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{total}} \quad R^2_{ajustado} = \left(1 - R^2 \right) * \frac{n-1}{n-p-1} \quad (9)$$

em que: R^2 ajustado é o coeficiente de determinação ajustado; R^2 é o coeficiente de determinação; n é o número de observações; p é o número de parâmetros; SQ_{res} é a soma dos quadrados dos resíduos; SQ_{total} é a soma dos quadrados total.

O Erro Padrão da Estimativa ($Syx\%$) indica a precisão do ajuste de um modelo, sendo que quanto mais próximo de 0, melhor será a estimativa pela modelagem a ser utilizada, o mesmo é expresso pela seguinte fórmula.

$$Syx = \sqrt{QM_{res}} \quad Syx\% = \frac{Syx}{Y_{med}} * 100 \quad (10)$$

em que: S_{yx} é o erro padrão da estimativa absoluto (m^3), QM é o quadrado médio dos resíduos; $S_{yx}\%$ é o erro padrão da estimativa relativo (%); Y_{med} é o valor médio da variável volume (m^3).

Realizou-se análise residual em porcentagem como medida de precisão dos métodos de cubagem. O cálculo do desvio teve como base o volume coletado pelo xilômetro, determinado pela seguinte fórmula.

$$Des\% = \frac{V_{xilômetro} - V_{calculado}}{V_{xilômetro}} \cdot 100 \quad (11)$$

em que: $Des\%$: resíduo (%) do volume do método de cubagem em relação ao xilômetro; $V_{xilômetro}$: volume determinado pelo xilômetro; $V_{calculado}$: volume determinado pelo método de cubagem.

Sendo assim, os desvios negativos indicam superestimativas e os desvios positivos indicam subestimativas em relação ao volume do xilômetro.

Foi realizada a análise de Variância (ANOVA), considerando 95% de probabilidade, para determinar diferenças entre os fatores de forma de cada método de cubagem nas diferentes idades, e havendo diferenças significativas aplicou-se teste Dunnett ($\alpha=0,05$) para comparação de médias dos métodos em relação ao xilômetro. Para atender os pressupostos da ANOVA realizou-se a análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk a 95% de probabilidade. Em cada idade os métodos de cubagem representaram um tratamento e as árvores repetições. As análises foram realizadas separadamente para cada idade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentada a estatística descritiva das variáveis DAP e altura para as idades 9, 13 e 20 anos. As árvores de menor idade apresentaram menor porte, com diâmetro médio de 17,5 cm e alturas 10,3 a 14,3 m para a idade 9. Para a idade 13 a média de diâmetro foi de 26,5 cm e altura média de 17,2 m, e aos 20 anos as médias foram 37,6 cm e 26,1 m para diâmetro e altura respectivamente.

Tabela 1. Valores médios, mínimo e máximo das variáveis dendrométricas: Diâmetro à altura do peito mensurado a 1,30 m do solo (DAP) e altura total (h), para a espécie *Pinus taeda* com idades de 9, 13 e 20 anos, Ponte Alta do Norte (SC).

Idade (anos)	DAP (cm)			h (m)		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
9	10,7	17,5	23,3	10,3	12,5	14,3
13	18,3	26,5	36,0	15,4	17,2	19,0
20	29,5	37,6	45,4	23,4	26,1	28,0

Fator de forma das árvores

Na Tabela 2 pode-se observar os valores médios do fator de forma dos métodos de cubagem por idade. Na idade 9 anos o Smalian obteve maior média com 0,4699 e o menor Hohenadl 10 com 0,3706 e nessa idade o xilômetro obteve uma média de 0,4351. Na idade 13 xilômetro apresentou menor média com 0,4455 e a maior foi do Huber com 0,5063. Os valores do desvio padrão foram baixos, mostrando que os dados estão bem distribuídos em torno da média. Kohler (2013) avaliou *Pinus taeda* também aos 9 anos e verificou o fator de forma 0,4700 para plantio no Paraná e 0,4430 em Santa Catarina. Para idade 13 anos a autora encontrou fator de forma com 0,4710. Aos 19 anos Cardoso et al. (2014) obteve fator de forma médio para *Pinus taeda* de 0,4780 bem próximo aos valores do método xilômetro e Smalian encontrados nesse trabalho que tiveram respectivamente 0,4534 e 0,4694. A partir desses dados comparativos fica evidente o cuidado a ser tomado ao usar fator de forma para diferentes idades, porque o uso indiscriminado de um fator de forma fixo para qualquer idade pode gerar estimativas erradas na obtenção do volume (Ferreira, 1999; Kohler et al., 2016).

Tabela 2. Média e desvio padrão do fator de forma dos métodos de cubagem para a espécie *Pinus taeda* com idades de 9, 13 e 20 anos, Ponte Alta do Norte (SC).

Métodos de cubagem	9 anos		13 anos		20 anos	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Xilômetro	0,4351	0,048	0,4455	0,037	0,4534	0,060
Hohenadl 10	0,3706	0,045	0,4861	0,036	0,4831	0,079
Hohenadl 5	0,4476	0,033	0,4865	0,035	0,4782	0,079
Newton	0,4534	0,030	0,4916	0,038	0,4717	0,055
Smalian	0,4699	0,031	0,4934	0,038	0,4694	0,059
Huber	0,4775	0,048	0,5063	0,036	0,4821	0,063

Na Figura 1 contém os resultados referentes a determinação do fator de forma para os métodos testados em comparação com o xilômetro.

Figura 1. Box-plot do fator de forma para os diferentes métodos testados nas idades de 9, 13 e 20 anos, para a espécie *Pinus taeda*, Ponte Alta do Norte (SC). A variação de 50% nos dados entre o 1º e o 3º quartis é definida pela caixa que mostra a mediana (linha horizontal interna), valores máximos e mínimos (linhas tracejadas), média (ponto vermelho). Letras iguais não diferem pelo teste Dunnett a 95% de probabilidade

Na Figura 1 nota-se que na idade 9 houve um leve aumento dos fatores de forma dos métodos em relação ao xilômetro com exceção do Hohenadl 10 secções, que teve sua dispersão menor. Esse comportamento também é semelhante na idade 13 na qual todos os fatores de forma foram maiores que o xilômetro. Aos 20 anos a distribuição foi bastante similar entre os tratamentos.

O comportamento do xilômetro no gráfico de box-plot apresentou uma variação similar entre os valores máximos e mínimos para as diferentes idades, sendo que a média do fator de forma aumentou à medida que aumentou o tempo.

Os resultados da análise de variância indicaram diferença significativa (p -valor $<0,05$) entres os fatores de forma dos diferentes métodos aos 9 e 13 anos, exceto para a idade 20 que não apresentou diferença entre médias (Tabela 3). Na idade 9 o método Hohenadl 5 secções e Newton mostraram-se mais eficiente na estimativa do fator de forma das árvores conforme mostrado na Figura 1 e Tabela 4, este que mostra os p -valores não significativos das médias entre referidos tratamentos e xilômetro pelo teste de Dunnett. O teste também mostrou que na idade 13 os métodos comparados com xilômetro tiveram diferenças significativas, portanto rejeitando a hipótese de igualdade entre as médias.

Tabela 3. Análise de Variância dos fatores de forma para a espécie *Pinus taeda* com idades de 9, 13 e 20 anos em função dos métodos de cubagem utilizados para a estimativa (Xilômetro, Hohenadl 10, Hohenadl 5, Newton, Smalian, Huber), Ponte Alta do Norte (SC).

Idade	Fonte de variação	GL	SQ	QM	F calc	F tab (5%)	p-valor
9	Tratamentos	5	0,2799	0,059	40,22	2,25	1,14*10 ⁻²⁸
	Resíduo	204	0,2839	0,0014			
	Total	209	0,5638				
13	Tratamentos	5	0,0758	0,0152	11,21	2,26	1,7*10 ⁻⁰⁹
	Resíduo	192	0,2594	0,0014			
	Total	197					
20	Tratamentos	5	0,0204	0,0041	0,92	2,26	0,4689
	Resíduo	192	0,8497	0,0044			
	Total	197	0,8701				

Tabela 4. Teste Dunnet a 95% de significância para comparação de médias do ff dos métodos de cubagem em relação ao xilômetro.

Diferença entre níveis	9 anos	13 anos	20 anos
	p-valor	p-valor	p-valor
HH10 - Xilômetro	7,22977E-13*	0,000033*	0,244008432 ^{ns}
HH5 - Xilômetro	0,483638 ^{ns}	0,000030*	0,408025998 ^{ns}
Newton - Xilômetro	0,152532 ^{ns}	0,000014*	0,688654832 ^{ns}
Smalian - Xilômetro	0,000619*	0,000013*	0,786342506 ^{ns}
Huber - Xilômetro	0,000031*	0,000012*	0,273081293 ^{ns}

*Diferença significativa pelo teste Dunnett ($P<0,05$), ns: não significativo pelo teste de Dunnett

Na idade 20 as médias dos fatores de forma dos métodos em relação ao xilômetro não apresentarem diferença estatísticas (p -valor $>0,05$) (Figura 1, Tabela 4), entretanto Smalian pela análise do resíduo apresentou o menor valor médio de -3,56% comparado ao volume obtido pela xilometria. Os demais métodos tiveram superestimativa do volume, e dessa forma Smalian foi o método escolhido para determinação do fator de forma da 1ª primeira tora nessa idade (Tabela 5). Esse resultado é bem próximo Lima (2015) avaliou o volume *Pinus taeda* no estado de Santa Catarina e encontrou resíduo médio para o método de Smalian de -3,3%

Tabela 5. Volume (m³) médio por método de cubagem obtidos no povoamento de 20 anos, e respectivos desvios percentuais médios em relação aos volumes obtidos com o xilômetro.

Método	Média	
	v (m ³)	DES %
Xilômetro	1,3440	-
Hohenadl10	1,4017	-4,61
Hohenadl5	1,4062	-4,87
Newton	1,4009	-4,46
Smalian	1,3899	-3,56
Huber	1,4440	-7,73

De posse das informações sobre o fator de forma de cada idade que apresentaram semelhanças como xilômetro é mostrado na Figura 2 os desvios percentuais em relação aos volumes obtidos pelo xilômetro dos métodos Hohenadl 5 secções e Newton na idade 9 e Smalian na idade 20. Pela distribuição gráfica dos resíduos na idade 9 os métodos apresentaram baixo viés com estimativas de volume bem próximos ao valor obtido com a xilometria (Figura 2a,b). Smalian pela distribuição residual teve uma leve tendência de superestimar os valores do volume comparado ao xilômetro (Figura 2c).

Figura 2. Distribuição de resíduos (%) de métodos de cubagem comparado com os obtidos pelo Xilômetro para a espécie *Pinus taeda*, Ponte Alta do Norte (SC). a: Res% Hohenadl 5 secções aos 9 anos, b: Res% Newton aos 9 anos, c: Res% Smalian aos 20 anos.

Os métodos de Newton, Smalian e Hohenadl 5 secções apresentam resultados precisos na determinação de volumes individuais, embora Huber pela literatura também seja bastante empregado para tal finalidade em razão de rapidez e agilidade na realização da cubagem das árvores. O mesmo fato foi determinado por Machado & Figueiredo Filho (2009) no qual apontam os métodos de Smalian, Newton e Huber como os mais empregados por empresas florestais de todas as partes do planeta, principalmente pelas facilidades de usos que eles apresentam. Hoffmann (2018) encontrou no método Huber como o ideal para estimativa sendo mais simplificado e de fácil aplicação, mostrou uma superioridade na estimativa de volume para as idades de 9 e 13 anos em *Pinus taeda* L., em relação aos demais.

Em resumo, para o uso de fatores de forma para idade 9 tendo como base o xilômetro é indicado Hohenadl 5 secções e Newton. Aos 13 anos os métodos apresentaram diferença significativa e aos 20 anos o método Smalian teve o melhor desempenho na estimativa no fator de forma.

Pelos resultados desse trabalho fica evidente a importância que se adote fatores de forma de acordo com a idade. É uma maneira de ter maior precisão na estimativa de volume e gerar menor erros, isso vai ao encontro do que dizem Rocha et al (2010) ao afirmarem que o fator de forma médio deve ser utilizado observando as características da idade dos povoamentos a fim de gerar estimativas mais precisas. Sanquetta et al. (2016) recomendam utilizar fatores de formas por idade pois essa é uma variável influenciadora no volume. A pesquisa desenvolvida por Pertille et al. (2018) trabalhando com *Pinus taeda* L., em Telêmaco Borba (PR), avaliaram a necessidade de usar fator de forma por agrupamento de idade, podendo ser uma vantagem na estimativa de melhores estatísticas para essa espécie

Fator de forma da primeira tora

A Tabela 6 mostra os ajustes referente aos modelos de Kozak e Prodan para a idade de 20 anos. De modo geral os modelos apresentaram um alto coeficiente de determinação ajustado e também um baixo erro padrão da estimativa, a regressão dos ajustes obteve significância estatística com p-valor >0,05, por isso uma boa precisão. Nota-se que o ajuste do modelo de Kozak apresentou os melhores resultados para as métricas de qualidade de ajustes analisados com um coeficiente de determinação ajustado de 0,8293 e Syx de 9,49%, o que aponta esse modelo como o mais apropriado em relação ao Prodan. Stepka et al. (2017) relatava a importância da medição da primeira tora para estabelecer multiprodutos florestais definir volume para serraria, laminação, energia e celulose.

As métricas indicaram Kozak como melhor modelo, embora o modelo de Prodam apresente valores bem aproximados de R²ajustado e Syx%. Mas por possuir menor número coeficientes de regressão, Kozak foi selecionado como o melhor modelo, visto que quanto maior for o número de parâmetros, maior será a influência negativa sobre o valor de R² ajustado (Moser & Oliveira, 2017).

Tabela 6. Métricas de qualidade de ajuste e parâmetros dos modelos Kozak e Prodan, para a espécie *Pinus taeda* aos 20 anos, Ponte Alta do Norte (SC).

Ajuste	R²ajust	Syx%	β₀	β₁	β₂	β₃	β₄	β₅	p-valor
Kozak	0,8293	9,49	1,159	-1,722	0,544	-	-	-	1,4E-29*
Prodan	0,8256	9,59	1,135	-2,638	9,896	-19,878	16,862	-5,369	3,1E-35*

em que: R²ajust., Coeficiente de determinação ajustado; Syx, erro padrão da estimativa (%); βn, parâmetros dos modelos. *: significativo a 95% de probabilidade.

Na Figura 3 é apresentada a determinação do fator de forma da primeira tora em função dos comprimentos de 2,50 e 3,05 metros, percebe-se que o modelo de Kozak apresentou melhor ajuste para o conjunto de dados em questão.

Figura 3. Fator de forma da primeira tora nos comprimentos 2,50 e 3,05 metros para modelos de Kozak e Prodan, para espécie *Pinus taeda*, Ponte Alta do Norte (SC). A variação de 50% nos dados entre o 1º e o 3º quartis é definida pela caixa que mostra a mediana (linha horizontal interna), os valores máximo e mínimo (linhas tracejadas) e a média (ponto vermelho).

Para o comprimento de 3,05 metros, o fator de forma determinado por Kozak apresentou a média de 0,8136, sendo que para Prodan o valor médio foi de 0,7904. Avaliando a tora de comprimento 2,50 metros, fator de forma médio por Kozak foi de 0,8294 e por Prodan foi de 0,7025. Para que o ajuste pela equação de Prodan fosse superior, faz-se necessário o aumento do número de árvores cubadas visto que ocorre a utilização do maior número de parâmetros estatísticos a ser empregado no ajuste, o que acaba não sendo representativo para um banco de dados reduzido. As médias dos fatores de forma foram próximos de 0,8 como mostrado na Figura 3, pode-se inferir que em ambos os comprimentos obtiveram alto fator de forma, isso se deve principalmente ao fato da primeira tora não apresentar elevado afilamento quando comparado todo o fuste de uma árvore.

Na Figura 3 é possível observar que para o método de Kozak a amplitude do fator de forma é semelhante para os dois comprimentos trabalhados, e para o método de Prodan o fator de forma apresentou valores médios diferentes, decrescente do comprimento 3,05 para 2,5.

Comparando o volume estimado, pelo melhor modelo ajustado, da primeira tora com o volume obtido utilizando o fator de forma médio nos respectivos comprimentos, não houve diferenças significativas ($p\text{-valor} > 0,05$).

As estimativas volumétricas propiciadas pelo fator de forma e o pelo ajuste volumétrico do modelo de Kozak não diferiram estatisticamente, portanto ambas as estimativas são satisfatórias para estimar o volume da primeira tora nos dois comprimentos.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se inferir que os métodos de cubagem mais satisfatórios para determinar o fator de forma tendo como base o xilômetro foram Hohenadl (5 secções) e Newton para idade 9, e Smalian para idade 20. Aos 13 anos todos os métodos testados tiveram diferença significativa em relação ao xilômetro, portanto não foram ideais para determinar o fator de forma.

O modelo de afilamento de Kozak obteve as melhores métricas de qualidade para determinar o fator de forma das toras dos comprimentos 3,05 metros e 2,5 metros com respectivos fatores de forma 0,8136 e 0,8294. Desse modo esses valores podem ser base para melhorar as estimativas do volume da primeira tora por serrarias e produtores florestais da região da área de estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo de Pesquisa Gestão de Recursos Florestais da FAPESC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahrens, S. (1982). Funções de forma: sua conceituação e utilidade. In *Anais do 5º Seminário sobre Atualidades e Perspectivas Florestais: o Uso de Funções de Forma de Tronco em Estudos de Volumetria de Espécies Florestais* (pp. 7-14). Curitiba: EMBRAPA-URPFCS.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., & Gonçalves, J. L. M. (2013). SPAROVEK. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift (Berlin)*, 22(6), 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Cardoso, D. J., Arce, J. E., & Francisco, L. (2014). Efeito da desrama em árvores de *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm. Na idade de corte raso. In *Anais do II Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal* (pp. 267-271). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.
- Drescher, R., Schneider, P. R., Finger, C. A. G., & Queiroz, F. L. C. (2001). Fator de forma artificial de *Pinus elliottii* Engelm para a região da Serra do Sudeste do estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, 31(1), 37-42. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000100006>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2004). *Solos do Estado de Santa Catarina*. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Recuperado em 10 de maio de 2019, de <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/964417>
- Ferreira, R. A. (2005). *Análise genética e seleção em testes dialélicos de Pinus taeda* L. (Tese de doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- Ferreira, S. O. (1999). Estudo da forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Hoffmann, D. (2018). *Comparação e Avaliação de métodos de cubagem para modelagem volumétrica e de afilamento de Pinus taeda* L. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. (2019). *Relatório anual: ano base 2018*. Brasília: IBÁ.
- Kohler, S. V. (2013). *Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de Pinus taeda nos Estados do Paraná e Santa Catarina* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Kohler, S. V., Koehler, H. S., Figueiredo Filho, A., Arce, J. E., & Machado, S. A. (2016). Evolution of tree stem taper in *Pinus taeda* stands. *Ciência Rural*, 46(7), 1185-1191. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140021>.
- Lima, G. C. P. (2015). *Comparação de diferentes métodos de cubagem de madeira de povoamento de Pinus taeda* L. na região serrana de Santa Catarina (Dissertação de mestrado). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- Lima, G. C. P., Kohler, S. V., Silvestre, R., Navroski, M. C., Bonazza, M., Allegretti, G., & Scarioti, R. (2016). Acuracidade de métodos de cubagem para estimativa do volume de *Pinus taeda* L. *BIOFIX Scientific Journal*, 1(1), 74-82.
- Machado, S. A., & Figueiredo Filho, A. (2009). *Dendrometria* (2. ed., 316 p.) Guarapuava: UNICENTRO.
- Miguel, E. P., Canzi, L. F., Rufino, R. F., & Santos, G. A. (2010). Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Rio Verde-GO. *Enciclopédia Biosfera*, 6(11).
- Moser, P., & Oliveira, L. Z. (2017). *Regressão linear aplicada à dendrometria: uma introdução e iniciação à linguagem R*. (152 p.). Blumenau: Edifurb.
- Pertille, C. T., Sanquetta, C. R., Nicoletti, M. F., & Topanotti, L. R. (2018). Volume prediction through form factor and regression models by age class for *Pinus taeda* L. *Advances in Forestry Science*, 5(3), 431-436.
- Rocha, T. B., Cabacinha, C. D., Almeida, R. C., Paula, A., & Santos, R. C. (2010). Avaliação de métodos de estimativa de volume para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Planalto da Conquista - BA. *Enciclopédia Biosfera*, 6(10), 1-13.
- Sampaio, K. R. M. (2014). *Análise do desenvolvimento de Pinus taeda* L. através de diferentes técnicas de plantio na região de Piraí do Sul-PR (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Sanquetta, C. R., Corte, A. P. D., Rodrigues, A., & Watzlawick, L. F. (2014). *Inventários florestais: Planejamento e execução* (406 p.). Curitiba: Multi-Graphic.
- Sanquetta, C. R., Do Carmo Dolci, M., Dalla Corte, A. P., Sanquetta, M. N. I., & Pelissari, A. L. (2017). Form factors vs. regression models in volume estimation of *Pinus taeda* L. stem. *Científica (Jaboticabal)*, 45(2), 175-181. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n2p175-181>.
- Sanquetta, C. R., Dolci, M., Corte, A. P. D., Sanquetta, M. N. I., & Pelissari, A. L. (2016). Estimação de volumes de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze por fatores de forma em classes diamétricas e modelos de regressão. *Enciclopédia Biosfera*, 13(23), 588-597. http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_052.
- Scolforo, J. R. S., & Mello, J. M. (1997). *Inventário florestal* (310 p.). Lavras: UFLA/FAEPE.
- Silvestre, R., Bonazza, M., Stang, M., Lima, G. C. P., Koepsel, D. A., Marco, F. T., Ciarnoschi, L. D., Scariot, R., & Morês, D. F. (2014). Equações volumétricas em povoamentos de *Pinus taeda* L. no município de Lages-SC. *Nativa (Sinop)*, 2(1), 1-5. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v02n01a01>.
- Stepka, T. F., Zeny Junior, G., Lisboa, G. D. S., Cerqueira, C. L., Pesck, V. A., & Roik, M. (2017). Modelos volumétricos e funções de afilamento para *Pinus taeda* L. na região dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. *Espacios*, 38(21), 26-34.
- Thaines, F., Braz, E. M., Mattos, P. P., & Thaines, A. A. R. (2010). Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 30(64), 283-289. <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.283>.

Contribuição dos Autores: MFN: Curadoria de Dados, Metodologia, Administração do Projeto, Escrita – Revisão e Edição; BAL: Curadoria de Dados, Metodologia, Investigação, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição; MERB: Investigação, Escrita – Primeira Redação; TFS: Metodologia, Supervisão, Visualização.