



## Comparação de métodos para estimativas volumétricas em diferentes espécies de pinus plantadas no Mato Grosso do Sul

Edilson Urbano<sup>1</sup>, Vitor Hugo dos Santos Simplicio<sup>2</sup>, Filipe Valadão do Prado Cacau<sup>3</sup>

**Resumo.** O presente estudo teve como objetivo comparar diferentes métodos para estimativas volumétricas de espécies do gênero *Pinus* plantados na região de Mato Grosso do Sul. Os dados foram obtidos por dois métodos, o primeiro pelo método destrutivo, o qual foi aplicado em três árvores de quatro diferentes espécies de pinus (*P. caribaea* var. *caribaea*, *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* (Híbrido), *P. maximinoi* e *P. oocarpa*). O segundo método foi realizado em 12 árvores cubadas em pé com o uso do dendrometro digital, totalizando 24 árvores, as quais foram cubadas pelo método de Hohenadl. Os métodos testados foram: fator de forma, quociente de forma, método dos dois diâmetros e equações volumétricas. Os resultados foram submetidos à análise de variância com nível de significância de 5%. Os modelos de Naslund e Stoate apresentaram os melhores resultados estatísticos e o melhor desempenho na análise gráfica de resíduos para as espécies *P. oocarpa* e *P. maximinoi* e o Híbrido. Já para a espécie *P. caribaea* var. *caribaea*, o método considerado mais preciso e com menor tendenciosidade, foi o método dos dois diâmetros, obtido através da mensuração do diâmetro nas alturas 1,3 e 2 metros. Entretanto, de acordo com a análise de variância, não há diferença significativa entre o volume obtido usando os diferentes métodos em relação ao volume obtido por meio da cubagem rigorosa. Dessa forma, todos os métodos podem ser utilizados para estimar o volume das quatro espécies do gênero *Pinus* plantados na região de Mato Grosso do Sul.

**Palavras-chave:** Cubagem Rigorosa. Fator de Forma Natural. Quociente de Forma Natural.

Submitted on:  
06/15/2021

Accepted on:  
07/19/2021

Published on:  
07/27/2021



Open Access  
Full Text Article



DOI:10.21472/bjbs.v08n19-004

## Comparison of methods for volumetric estimates in different pine species planted in Mato Grosso do Sul

**Abstract.** The present study aimed to compare different methods for volumetric estimates of species of the genus *Pinus* planted in the region of Mato Grosso do Sul. The data were obtained by two methods, the first by the destructive method, which was applied to three trees from four different pine species (*P. caribaea* var. *caribaea*, *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* (Hybrid), *P. maximinoi*

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauna, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: [edurbano2@gmail.com](mailto:edurbano2@gmail.com)  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9351-5406>

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauna, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: [vitor.hsimplicio55@gmail.com](mailto:vitor.hsimplicio55@gmail.com) Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-1306-8559>

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauna, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: [filipecacau@gmail.com](mailto:filipecacau@gmail.com)  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0580-8688>

and *P. oocarpa*). The second method was carried out on 12 trees cubed standing using a digital dendrometer, totaling 24 trees, which were cubed using the Hohenadl method. The methods tested were: form factor, form quotient, two diameter method and volumetric equations. The results were subjected to analysis of variance with a significance level of 5%. The Naslund and Stoate models presented the best statistical results and the best performance in the graphical analysis of residues for the species *P. oocarpa* and *P. maximinoi* and the Hybrid. For the species *P. caribaea* var. *caribaea*, the method considered more accurate and with less bias, was the two-diameter method, obtained by measuring the diameter at heights of 1.3 and 2 meters. However, according to the analysis of variance, there is no significant difference between the volume obtained using the different methods in relation to the volume obtained through rigorous cubing. In this way, all methods can be used to estimate the volume of the four species of the genus *Pinus* planted in the Mato Grosso do Sul.

**Keywords:** Rigorous cubing. Natural form factor. Natural form quotient.

### Comparación de métodos para estimaciones volumétricas en diferentes especies de pino plantadas en Mato Grosso do Sul

**Resumen.** El presente estudio tuvo como objetivo comparar diferentes métodos de estimación volumétrica de especies del género *Pinus* plantadas en la región de Mato Grosso do Sul. Los datos fueron obtenidos por dos métodos, el primero por el método destructivo, que se aplicó a tres árboles de cuatro diferentes especies de pinos (*P. caribaea* var. *caribaea*, *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* (Híbrido), *P. maximinoi* y *P. oocarpa*). El segundo método se llevó a cabo en 12 árboles cúbicos en pie usando un dendrómetro digital, totalizando 24 árboles, los cuales fueron cúbicos usando el método Hohenadl. Los métodos probados fueron: factor de forma, cociente de forma, método de dos diámetros y ecuaciones volumétricas. Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza con un nivel de significancia del 5%. Los modelos Naslund y Stoate presentaron los mejores resultados estadísticos y el mejor desempeño en el análisis gráfico de residuos para las especies *P. oocarpa* y *P. maximinoi* y el Híbrido. Para la especie *P. caribaea* var. *caribaea*, el método considerado más preciso y con menos sesgo, fue el método de dos diámetros, obtenido midiendo el diámetro en alturas de 1,3 y 2 metros. Sin embargo, según el análisis de varianza, no existe diferencia significativa entre el volumen obtenido mediante los diferentes métodos en relación al volumen obtenido mediante cuboización rigurosa. De esta manera, se pueden utilizar todos los métodos para estimar el volumen de las cuatro especies del género *Pinus* plantadas en la región de Mato Grosso do Sul.

**Palabras clave:** Cúbica rigurosa, Factor de forma natural, Cociente de forma natural

## INTRODUÇÃO

No Brasil, as espécies de *Pinus* e *Eucalyptus* predominam como as principais essências florestais plantadas. São consideradas importantes fontes de matéria prima para diversos fins, como: painéis, celulose, serraria, siderurgia (HOEFLICH *et al.*, 2005).

O plantio de espécies exóticas (*Eucalyptus* e *Pinus*) no país, ultrapassa os 9 milhões de hectares, sendo que 20,65% são destinados ao plantio de pinus (IBGE, 2018). Em Mato Grosso do Sul, a área destinada ao plantio de pinus é de apenas sete mil hectares (IAGRO, 2015), uma pequena área em relação

ao plantio de eucalipto. Isto ocorre devido a maioria das espécies de pinus não serem adaptadas as elevadas temperaturas da região, diminuindo o volume de madeira esperado (EMBRAPA FLORESTAS, 2014).

Deste modo, a mensuração volumétrica torna-se necessário para a obtenção do estoque de madeira nesses povoamentos, sendo utilizados essas informações como base para o planejamento florestal, adequando de forma eficiente as práticas silviculturais, visando o aumento da produtividade (BONAZZA *et al.*, 2019).

O volume é a variável mais importante na determinação da quantidade de madeira existente em uma área florestal (DRESCHER *et al.*, 2001). Para avaliar o aumento em volume de uma árvore, seja ele, total ou parcial, é necessário considerar a influência de certos fatores como: diâmetro e altura (PELLICO NETO, 1980). Ao longo do tempo, diversas técnicas foram desenvolvidas através desses fatores, como as equações volumétricas, a determinação dos fatores e quocientes de forma (MELO *et al.*, 2013) e segundo Thiersch *et al.* (2006) também a utilização do método dos dois diâmetros.

São designadas como equações volumétricas, funções matemáticas que expressam a relação entre uma variável de difícil obtenção, como o volume e outras variáveis de fácil obtenção como é o caso do DAP e a altura, seja ela, total ou comercial (MACHADO *et al.*, 2008).

O fator de forma é uma razão entre o volume real da árvore e o volume do cilindro, a classificação de um fator de forma depende diretamente da referência ao diâmetro considerado no cálculo do volume do cilindro, ou seja, se o diâmetro do cilindro for medido a 10% da altura total da árvore, o fator de forma é considerado natural e se o diâmetro considerado for a 1,3 metros de altura (diâmetro à altura do peito) é considerado fator de forma artificial (PRODAN *et al.*, 1997).

O quociente de forma natural é obtido através do decréscimo do diâmetro presente ao longo do fuste, sendo as razões dos diâmetros medidos em diferentes alturas da árvore e o diâmetro de Hohenald, mensurado a 10% da altura total (SOUZA, 2009).

Já o método dos dois diâmetros, baseia-se na averiguação de qual segmento do fuste presente entre dois diâmetros quaisquer, pode-se obter o volume mais coerente com o volume real da árvore (MARTINS, 2016).

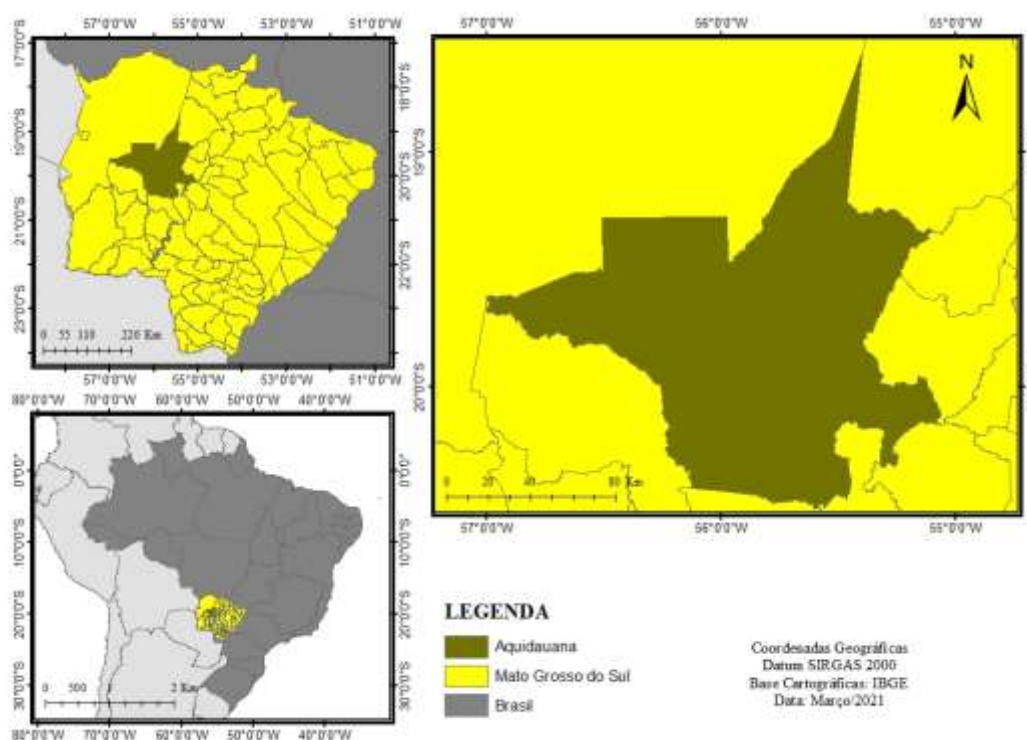
Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo comparar diferentes métodos para estimativas volumétricas de espécies do gênero Pinus (*caribaea* var. *caribaea*, *elliottii* var. *elliottii* x *caribaea* var. *hondurensis* - Híbrido, *maximinoi* e *oocarpa*) com seis anos de idade, plantados em Mato Grosso do Sul.

## METODOLOGIA

### Localização do Experimento

A pesquisa será realizada na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, unidade de Aquidauana/MS. O município de Aquidauana está localizado na Serra de Maracaju, na Mesorregião dos Pantanaís Sul-Mato-Grossenses e a Microrregião de Aquidauana (Figura 1). O local da área experimental tem como coordenadas de 20°28'16''S e 55°47'14''W (FINA, 2009).

Figura 1. Localização do Município de Aquidauana.



Fonte: Autor, 2021.

O clima da região é classificado segundo Köppen, como do tipo Aw, definido como clima tropical quente sub-úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, tendo uma temperatura média de 24,2°C e precipitação pluviométrica anual média de 1200 mm (LOPES *et al.*, 2012). A área de estudo apresenta características de cerrado, situando-se sobre Latossolo Vermelho. Com classificação de solo arenoso, textura média (TOMÉ JR, 1997).

### Cubagem Rigorosa das Árvores Amostras

Os dados utilizados nesse estudo foram obtidos através da derrubada de 3 árvores de cada espécie de *Pinus* (*caribaea*, híbrido, *maximinoi* e *oocarpa*), que apresentavam DAP maior que 10 cm (Figura 2), totalizando 12 árvores no qual foram rigorosamente cubadas. Os galhos foram retirados com o auxílio de facão para facilitar a medição dos diâmetros nas diferentes seções do fuste (Figura 3). Outras 12 árvores foram cubadas em pé com o uso do dendrometro digital Criterion RD 1000 (Figura 4). A cubagem das árvores foi realizada usando o método de Hohenadl 5 seções, onde os diâmetros são medidos a 10%, 30%, 50%, 70 % e 90% da altura total.

Do processo de cubagem, obtiveram-se os valores do diâmetro à altura do peito (DAP ou simplesmente d), a altura total (h), os diâmetros e a alturas de Hohenadl (a 10%, 30%, 50%, 70 % e 90% da altura total) e o volume individual real (v) para as 24 árvores cubadas.

Figura 2. Derrubada da árvore.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 3. Medição dos diâmetros.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 4. Realização da cubagem com o Criterion RD 1000.



Fonte: Autor, 2021.

### Desenvolvimento dos Métodos de Estimativa do Volume Individual

Com os volumes reais das árvores obtidos através da cubagem, a altura total, o DAP e o diâmetro de Hohenald medido a 10% da altura total da árvore, calculou-se os fatores de forma natural -  $f_{0,1h}$  (1) e artificial -  $f_{1,3h}$  (2).

$$f_{0,1h} = \frac{\text{vol real}}{\text{vol cil } d_{0,1h}} \quad (1)$$

Sendo:

$f_{0,1h}$  = fator de forma natural;

vol real = volume da árvore cubada em m<sup>3</sup>;

vol. cil. = volume do cilindro com base na área transversal do diâmetro à 10% da altura total.

$$f_{1,3h} = \frac{\text{vol real}}{\text{vol cil } d_{1,3h}} \quad (2)$$

Sendo:

$f_{1,3h}$  = fator de forma artificial;

vol real = volume da árvore cubada em m<sup>3</sup>;

vol. cil. = volume do cilindro com base na área transversal do diâmetro à 1,30 metro do solo.

Após a determinação do fator de forma natural e artificial para cada indivíduo, separados por espécie, foi calculada a média aritmética dos mesmos para determinação do volume (3):

$$v = g \cdot h \cdot f x \quad (3)$$

Sendo:

v = volume total da árvore em m<sup>3</sup>;

g = área transversal em m<sup>2</sup>;

h = altura total em metros;

f x = fator de forma médio (natural ou artificial).

Para a obtenção do quociente de forma (4) foi levado em consideração a relação entre diâmetros medidos a 10%, 30%, 50%, 70 % e 90% da altura total e o diâmetro de Hohenald, medido a 10% da altura total da árvore.

$$K_H = \frac{d_{0,1h}}{d_{0,1h}} \quad (4)$$

Sendo:

$K_H$  = Quociente de forma natural;

$d_{0,1h}$  = diâmetro medido a 10%;

$d_{0,1h}$  = diâmetro medido a 10% da altura total da árvore.

Após a determinação do quociente de forma natural para cada indivíduo, separados por espécie, foi calculada a média aritmética dos mesmos e esta foi usada para determinação do volume (5).

$$v = g \cdot h \cdot q x \quad (5)$$

Sendo:

v = volume total da árvore em m<sup>3</sup>;

g = área transversal em m<sup>2</sup>;

h = altura total em metros;

q x = quociente de forma natural a 10%, 30%, 50%, 70 % e 90%.



O método dos dois diâmetros foi calculado através da mensuração em pares das seguintes alturas: 0,1 a 1,3 m; 0,5 a 1,3 m; 1,0 a 1,3 e entre 1,3 a 2,0 m. Em seguida, ajustado o modelo linear (6) para cada uma das seções.

$$v = \beta_0 + \beta_1 * (d_1^2 + d_2^2) \quad (6)$$

Sendo:

$v$  = volume da árvore em m<sup>3</sup>;

$\beta_0$  e  $\beta_1$  = coeficientes a serem estimados;

$d_1$  e  $d_2$  = diâmetros medidos em centímetros nas alturas anteriormente especificadas.

Para a escolha da seção de melhor correlação com o volume total da árvore, foram avaliados os coeficientes de determinação ajustados  $R^2_{aj.}$ , erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ), Teste F de significância (F) e análise gráfica dos resíduos.

A partir dos dados obtidos na cubagem, foram ajustados 10 modelos matemáticos para estimativa do volume individual das árvores, sendo 7 aritméticos e 3 logarítmicos (Tabela 1).

Tabela 1 – Modelos volumétricos ajustados para estimar o volume individual das árvores.

Modelos	Autor
$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(D) + \beta_2 \cdot \ln(H) + \epsilon$	Schumacher-Hall logarítmizado
$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(D) + \beta_2 \cdot \ln(D^2) + \beta_3 \cdot \ln(H) + \beta_4 \cdot \ln(H^2) + \epsilon$	Prodan
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot D^2 + \beta_3 \cdot D \cdot H + \beta_4 \cdot D^2 \cdot H + \beta_5 \cdot H + \epsilon$	Meyer
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot D^2 + \beta_2 \cdot D^2 \cdot H + \beta_3 \cdot H + \epsilon$	Stoate
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot D^2 \cdot H + \epsilon$	Spurr (variável combinada)
$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(D^2 \cdot H) + \epsilon$	Spurr logarítmizado
$V = \beta_1 \cdot D^2 + \beta_2 \cdot D^2 \cdot H + \beta_3 \cdot D \cdot H^2 + \beta_4 \cdot H^2 + \epsilon$	Näslund
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot D^2 + \beta_3 \cdot D \cdot H + \beta_4 \cdot D^2 \cdot H + \epsilon$	Meyer modificado
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot D \cdot H + \beta_3 \cdot D^2 + \beta_4 \cdot H + \beta_5 \cdot D^2 \cdot H + \epsilon$	Compreensiva
$V = \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot D^2 + \epsilon$	Dissescu-Meyer

Onde:  $v$  = volume total (m<sup>3</sup>);  $d$  = diâmetro à altura do peito - DAP (cm);  $h$  = altura total (m); e  $\beta_i$  = coeficientes a serem estimados.

Fonte: Autor, 2021.

A seleção da melhor equação ajustada foi feita com base nas seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx} \%$ ), valor de F e análise gráfica dos resíduos.



Para verificar se há diferença significativa entre o volume encontrado pelos diferentes métodos, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) em delineamento inteiramente casualizado e com nível de significância de 5%. Cada método foi considerado como um tratamento e as árvores amostradas como repetições. Confirmando a hipótese de que há diferença significativa entre os tratamentos, será aplicado o teste de comparação de médias (Tukey – q5%) com a finalidade de verificar quais tratamentos se diferem dos demais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Determinação do Volume Real das Quatro Espécies do Gênero Pinus

Com base nos dados obtidos por meio da cubagem rigorosa, determinou-se o volume individual para cada espécie (Tabela 2). Observando-se as médias do volume, nota-se que a espécie *P. oocarpa*, apresenta maior valor em volume entre as demais, seguido das espécies *P. caribaea* e *P. maximinoi*.

Tabela 2 - Volume individual real calculado para as quatro espécies de pinus.

VOLUME REAL				
Nº de árvores	<i>P. caribaea</i>	Híbrido	<i>P. maximinoi</i>	<i>P. oocarpa</i>
1	0.0963	0.0585	0.0756	0.0928
2	0.0309	0.0053	0.0111	0.0278
3	0.0097	0.0197	0.0223	0.0066
4	0.0190	0.0212	0.0363	0.0776
5	0.0888	0.0291	0.0830	0.1081
6	0.0730	0.1011	0.0861	0.0309
<b>Volume médio</b>	<b>0.0530</b>	<b>0.0392</b>	<b>0.0524</b>	<b>0.0573</b>

Fonte: Autor, 2021.

### Fator de Forma Natural e Artificial

Na Tabela 3 são apresentados os fatores de forma natural e artificial médio, obtido para cada espécie. Observando-se as médias para o fator de forma natural -  $f_{0,1h}$  (considerado mais próximo do verdadeiro), estas mostraram que a espécie *P. caribaea*, possui pior forma quando comparada às demais espécies e que o *P. oocarpa* apresenta melhor forma (Tabela 3). Porém, de forma geral, os fatores de forma mostram acentuada conicidade na forma do fuste, indicando que estes vão corrigir o volume cilíndrico das árvores para algo em torno de 40% de seu valor. Este aspecto é característico de povoamentos jovens, como o do experimento avaliado nesse estudo.

Tabela 3 - Média dos fatores de forma, por espécie.

Espécie	$f_{0,1h}$	$f_{1,3}$
<i>Pinus caribaea</i>	0,3907	0,4381
Híbrido	0,4200	0,4650
<i>Pinus maximinoi</i>	0,4134	0,4050
<i>Pinus oocarpa</i>	0,4384	0,4340

Onde:  $f_{0,1h}$  = Forma natural;  $f_{1,3}$  = Forma artificial.

Fonte: Autor, 2021.

O fator de forma artificial ( $f_{1,3}$ ) calculado para as quatro espécies variam entre 0,4050 e 0,4650. Machado *et al.*, (2005) ao compararem diferentes métodos de estimativa de volume para o *Pinus oocarpa*, descrevem fatores de forma que variam de 0,4439 a 0,5033 para os regimes de manejo A, B e C, áreas não-desbastadas e com idades de 5, 6 e 7 anos, respectivamente. Em estudo realizado por Bonazza *et al.*, (2019), onde foram avaliados diferentes métodos de estimativas volumétricas para um povoamento de *Pinus patula* aos 9 anos de idade, o fator de forma artificial encontrado foi de 0,4530. Já Atanazio *et al.* (2018) estudando a forma do *Pinus taeda* aos 10 anos de idade, encontraram para o fator de forma artificial um valor médio de 0,50.

O fator de forma natural ( $f_{0,1h}$ ) calculado para as quatro espécies apresentou valores que variam entre 0,3907 e 0,4384. Fadaei *et al.*, (2008), ao comparar diferentes métodos para determinar o fator de forma em um plantio de *Pinus taeda* L. aos 18 anos de idade, obteve fator de forma natural médio de 0,5004. Com o intuito de estabelecer uma tabela com fatores de forma para auxiliar os inventário florestais realizados em um povoamento de *Pinus halepensis* Mill, datado de 1890, Bencherif e Belouatek (2011) descrevem fatores de forma naturais que variam entre 0,318 e 0,537. Kohler (2013), estudando a dinâmica da forma do fuste em um plantio de *Pinus taeda*, obteve fatores de forma naturais que variam de 0,360 a 0,556, entre as idades de 5 e 23 anos, respectivamente. Esses diferentes estudos mostram que de forma geral, à medida que a idade aumenta, o fator de forma também aumenta, caracterizando uma melhora da forma do fuste com o aumento da idade do povoamento.

### Quociente de Forma Natural

Para cada uma das 6 árvores por espécie, calculou-se o quociente de forma natural para 30%, 50%, 70% e 90% da altura total. Na Tabela 4 são apresentadas as médias desses quocientes.

Tabela 4 - Média dos quocientes de forma calculados por espécie.

Espécie	D <sub>30%</sub>	D <sub>50%</sub>	D <sub>70%</sub>	D <sub>90%</sub>
<i>Pinus caribaea</i>	0,7279	0,5359	0,2739	0,0876
Híbrido	0,7977	0,5855	0,2824	0,1002
<i>Pinus maximinoi</i>	0,7823	0,5585	0,2585	0,0921
<i>Pinus oocarpa</i>	0,7990	0,6164	0,3407	0,1192

Onde: Di% = Médias do quociente de forma natural a i% da altura total da árvore.

Fonte: Autor, 2021.

Ao analisar as médias dos quocientes na Tabela 4, verifica-se que os valores dos quocientes diminuem a medida que se faz a relação com os diâmetros em alturas superiores das árvores. Sendo que os quocientes obtidos a 50% da altura total da árvore foram os que mais se assemelharam com os fatores de forma da Tabela 3 e resultando em volumes mais próximos dos valores obtidos na cubagem. Desta forma, este foi o selecionado para uso. Azevedo *et al* (2011), ao testar diferentes métodos de estimativas volumétricas (modelos volumétricos, fator de forma artificial e quociente de forma natural) em dois povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, submetidos aos regimes de manejo alto fuste e talhadia, também escolheu o quociente de forma obtido para a altura relativa de 50%.

### Método dos Dois Diâmetros

Na tabela 5, podem ser observados os segmentos do fuste que melhor se correlacionam com o volume real presente nas quatro espécies de pinus.

Tabela 5 - Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos através do ajuste dos modelos lineares para quatro espécies de pinus.

Espécie	Porção do Tronco	Coefficientes	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	S <sub>yx</sub> %	F <sub>cal.</sub>
<i>Pinus caribaea</i>	1,3 a 2,0 m	b0 = -0,01354 b1 = 0,00024	0,9441	16,79	85,52
Híbrido	0,1 a 1,3 m	b0 = -0,01697 b1 = 0,00017	0,9785	13,13	229,04
<i>Pinus maximinoi</i>	1,3 a 2,0 m	b0 = -0,01035 b1 = 0,00021	0,8732	22,50	35,45
<i>Pinus oocarpa</i>	1,3 a 2,0 m	b0 = -0,01526 b1 = 0,00026	0,9728	11,82	180,14

Onde:  $\beta_i$  = Coeficientes ajustados; R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> = Coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> (%) = Erro padrão da estimativa em porcentagem; F<sub>cal.</sub>: Teste F de significância.

Fonte: Autor, 2021.

No geral, a porção do fuste que possui maior correlação com o volume total das espécies de pinus, está situado entre as alturas de 1,3 (DAP) e 2,0 metros do solo. Igualmente ao constatado neste estudo, Cysneiros *et al.* (2015) ao avaliarem o método dos dois diâmetros na espécie *Mimosa scabrella*, observaram que as porções do fuste de 1,3 (DAP) e 2,0 metros do solo expressaram maior correlação ao volume total da árvore. Segundo Thiersch *et al.* (2006), isso ocorre devido a pior forma que a base da

árvore apresenta, sendo mais indicado o ajuste deste modelo com diâmetros tomados em porções superiores do fuste.

Já para o híbrido, a porção de 0,1 a 1,3 (DAP) é a de maior correlação com o volume total da árvore, diferente do observado pelos autores Martins *et al.* (2016); Bonazza *et al.* (2019). Entretanto, em ambos os trabalhos são observadas boas estatísticas de ajuste para essa porção do fuste. Martins *et al.* (2016), ao avaliar o desempenho de diferentes métodos para estimar o volume da espécie *Corymbia citriodora* (Hook.), encontrou coeficiente de correlação de Pearson de 0,9833. Bonazza *et al.* (2019) ao comparar a precisão de diferentes métodos de estimativas volumétricas para a espécie *Pinus patula*, obteve coeficiente de determinação ajustado de 0,9716 e erro padrão da estimativa em porcentagem de 9,8%.

## Equações de Volume

Na Tabelas 6, estão apresentados os resultados pertinentes ao ajuste dos modelos volumétricos. Podendo ser observado através das estatísticas de ajuste, os modelos que melhor se adequaram as características dendrometrias presentes nas quatro espécies.

Tabela 6 - Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos através do ajuste de equações de volume quatro espécies de pinus.

Espécie	Modelo	Coeficientes	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}\%$	$F_{cal.}$
<i>Pinus caribaea</i>	Schumacher - Hall	bo = -9,1781 b1 = 0,5002 b2 = 2,1686	0,9276	19,12	33,02
Híbrido	Naslund	bo = -0,0076 b1 = -0,0009 b2 = 0,0003 b3 = -0,0005 b4 = 0,0023	0,9998	1,29	5997,70
<i>Pinus maximinoi</i>	Stoate	bo = -0,0682 b1 = -0,0002 b2 = 0,0001 b3 = 0,0137	0,8953	20,45	15,26
<i>Pinus oocarpa</i>	Naslund	bo = -0,0109 b1 = -0,0012 b2 = 0,0003 b3 = -0,0004 b4 = 0,0021	0,9877	7,93	101,32

Onde:  $\beta_i$  = Coeficientes ajustados;  $R^2_{aj.}$  = Coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}(\%)$  = Erro padrão da estimativa em porcentagem;  $F_{cal.}$ : Teste F de significância.

Fonte: Autor, 2021.

Dos quatro modelos selecionados, três apresentaram resultados estatísticos satisfatórios, com coeficiente de determinação ajustado variando entre 0,9276 e 0,9998, indicando alto grau de ajuste da variável dependente (volume) em relação as variáveis independentes (DAP e altura). E erro padrão da

estimativa em porcentagem com variação de 1,29% a 19,12%, indicando baixa variação entre os valores de volume estimado e observado. Apenas o modelo de Stoate, selecionado para a espécie *P. maximinoi* apresentou  $R^2_{aj}$  inferior a 0,900 e  $S_{yx}\%$  superior a 20%.

Ao analisar o modelo de Schumacher-Hall em um plantio de pinus utilizando diferentes metodologias, Kohler *et al.*, (2012), obtiveram resultados de ajuste superiores ao do presente estudo, com coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) que variam de 0,98 a 0,99 e erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ) variando entre 8,99% e 14,37%, demonstrando considerável grau de ajuste do modelo.

Nunes & Soares (2017), objetivando estabelecer diferentes métodos de estimativas volumétricas em um plantio clonal de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, encontraram resultados satisfatórios para o modelo de Stoate, com coeficiente de determinação ajustado de 98,5 e erro padrão da estimativa em porcentagem de 4,6%, resultados estatisticamente superiores a do presente estudo.

O modelo de Naslund apresentou as melhores estatísticas de ajuste e precisão, com destaque ao híbrido que obteve coeficiente de determinação ajustado de 0,99 e erro padrão da estimativa em porcentagem de 1,29%, indicando alto grau de ajuste do modelo as características dendrométricas presentes no fuste do híbrido. Resultados semelhantes foram encontrados por Lemos-Junior *et al.* (2016), ao constar que o modelo de Naslund foi o mais acurado ao estimar o volume em um plantio clonal de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* situado em um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta.

### **Avaliação da Eficiente e Precisão dos Métodos de Estimativa de Volume**

Na Tabela 7 são apresentados o volume individual por espécie, calculados por meio dos métodos de estimativa citados anteriormente. No geral, nota-se que os métodos menos complexos e de fácil usabilidade como os fatores de forma artificial e natural, quociente de forma natural e o método dos dois diâmetros, apresentaram resultados poucos satisfatórios, com tendência em superestimar e/ou subestimar o volume real. Exceto para a espécie *P. caribaea*, onde o método dos dois diâmetros demonstrou ser o mais preciso entre os demais métodos.

Ao analisar a distribuição dos resíduos (Figura 5) gerado através dos métodos propostos pelo estudo, verificasse que:

Os fatores de forma artificial e natural apresentam maior homogeneidade em sua distribuição residual, com menor tendenciosidade em seus valores para a espécie *P. oocarpa* e híbrido. Enquanto para as espécies *P. caribaea* e *P. maximinoi* é observado tendência em superestimar os volumes para os diâmetros acima de 10 centímetros. Já o quociente de forma natural apresenta resíduos em sua maioria abaixo da linha de regressão, demonstrando superestimativa de seus resultados em todas as espécies.

Tabela 7 – Comparação do volume individual estimados pelos diferentes métodos para as quatro espécies de pinus.

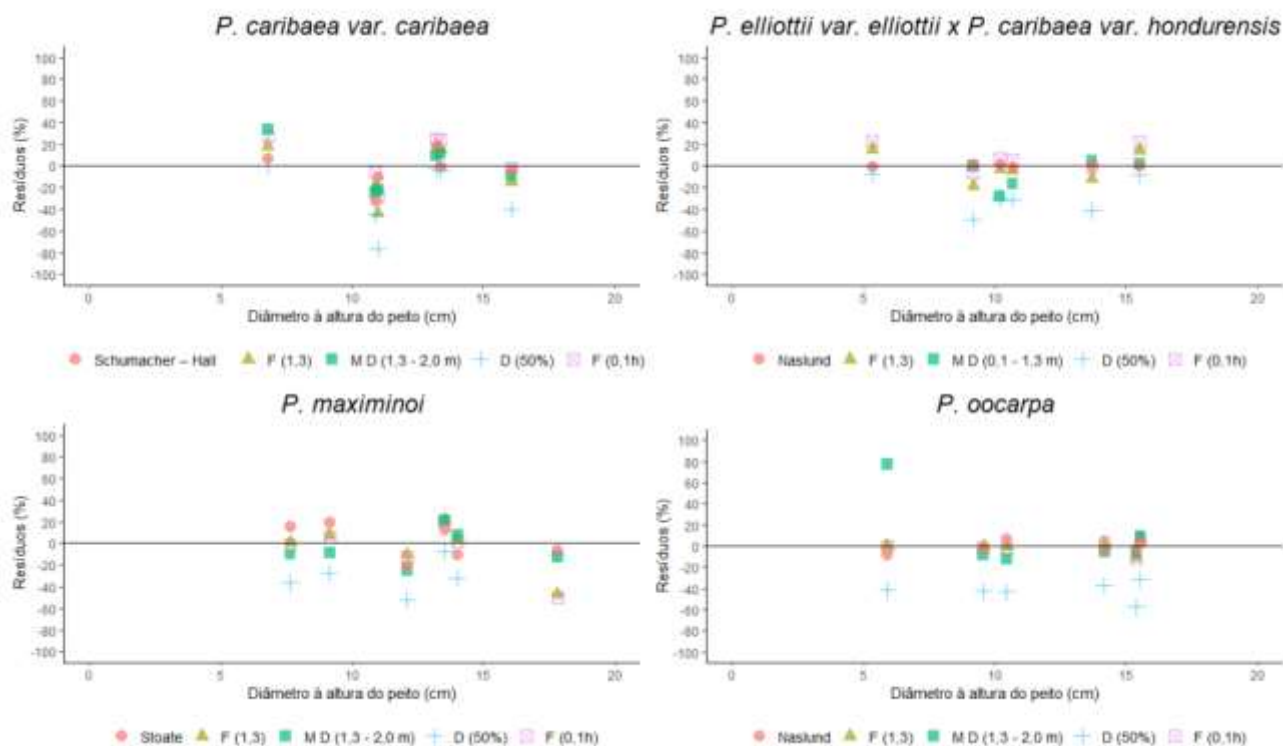
Espécies	V. real	$f_{0,1h}$	$f_{1,3}$	D 50%	M.D. (1,3 a 2,0 m)	Schumacher – Hall
<i>Pinus caribaea</i>	0.0963	0.0983	0.1102	0.1349	0.1048	0.0996
	0.0309	0.0327	0.0367	0.0449	0.0388	0.0409
	0.0097	0.0071	0.0079	0.0097	0.0064	0.0090
	0.0190	0.0244	0.0274	0.0335	0.0233	0.0210
	0.0888	0.0675	0.0756	0.0925	0.0787	0.0893
	0.0730	0.0546	0.0612	0.0749	0.0658	0.0591
Híbrido	-	-	-	-	M.D. (0,1 a 1,3 m)	Naslund
	0.0585	0.0592	0.0655	0.0825	0.0555	0.0585
	0.0053	0.0041	0.0045	0.0057	0.0046	0.0053
	0.0197	0.0211	0.0234	0.0294	0.0197	0.0195
	0.0212	0.0199	0.022	0.0277	0.0272	0.0210
	0.0291	0.0274	0.0303	0.0382	0.0338	0.0295
<i>Pinus maximinoi</i>	0.1011	0.0785	0.0869	0.1094	0.0995	0.1011
	-	-	-	-	M.D. (1,3 a 2,0 m)	Stoate
	0.0756	<b>0.0741</b>	<b>0.0726</b>	<b>0.1002</b>	<b>0.0699</b>	<b>0.0831</b>
	0.0111	<b>0.0112</b>	<b>0.0110</b>	<b>0.0151</b>	<b>0.0122</b>	<b>0.0093</b>
	0.0223	<b>0.0211</b>	<b>0.0207</b>	<b>0.0286</b>	<b>0.0243</b>	<b>0.0156</b>
	0.0363	<b>0.0409</b>	<b>0.0400</b>	<b>0.0552</b>	<b>0.0455</b>	<b>0.0433</b>
<i>Pinus oocarpa</i>	0.0830	<b>0.0660</b>	<b>0.0646</b>	<b>0.0891</b>	<b>0.0653</b>	<b>0.0723</b>
	0.0861	<b>0.1290</b>	<b>0.1264</b>	<b>0.1742</b>	<b>0.0971</b>	<b>0.1691</b>
	-	-	-	-	M.D. (1,3 a 2,0 m)	Naslund
	0.0928	<b>0.1038</b>	<b>0.1028</b>	<b>0.1460</b>	<b>0.0975</b>	<b>0.1169</b>
	0.0278	<b>0.0282</b>	<b>0.0279</b>	<b>0.0396</b>	<b>0.0302</b>	<b>0.0186</b>
	0.0066	<b>0.0067</b>	<b>0.0066</b>	<b>0.0094</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.0034</b>
<i>Pinus oocarpa</i>	0.0776	<b>0.0712</b>	<b>0.0704</b>	<b>0.1001</b>	<b>0.0768</b>	<b>0.0778</b>
	0.1081	<b>0.1013</b>	<b>0.1003</b>	<b>0.1425</b>	<b>0.0983</b>	<b>0.1156</b>
	0.0309	<b>0.0315</b>	<b>0.0312</b>	<b>0.0443</b>	<b>0.0346</b>	<b>0.0265</b>

Onde: F (1,3) = Fator de forma artificial; M. D. (i) = Método dos dois diâmetros; D (i %) = Quociente de forma natural; F (0,1) = Fator de forma natural.

Fonte: Autor, 2021.

O método dos dois diâmetros apresenta comportamento homogêneo na distribuição dos resíduos ao longo da linha de regressão, sendo observado maior amplitude na distribuição residual apenas para a espécie *P. oocarpa*. A análise gráfica dos resíduos gerados através dos modelos volumétricos reforça as estatísticas de ajuste apresentadas anteriormente, podendo ser notado nos gráficos os modelos Naslund e Stoate (*P. oocarpa*, *P. maximinoi* e o Híbrido) maior homogeneidade em sua distribuição residual, sem tendenciosidade em seus valores. Enquanto para o modelo de Schumacher-Hall (*P. caribaea*) é observado maior amplitude na distribuição dos resíduos ao longo da linha de regressão.

Figura 5. Gráficos de dispersão residual dos métodos testados no presente.



Sendo: F (1,3) = Fator de forma artificial; M D (i) = Método dos dois diâmetros; D (i %) = Quociente de forma natural; F (0,1) = Fator de forma natural.

Fonte: Autor, 2021.

Entretanto, após a aplicação da ANOVA com nível de significância a 5%, observou-se F calculado menor que o F tabelado para as quatro espécies (Tabela 8), portando, aceita-se a hipótese  $H_0$ . Constatando não haver diferenças significativas entre o volume médio individual encontrado pelos diferentes métodos e o volume médio encontrado através de cubagem rigorosa. Logo, não se fez necessário a aplicação do teste de comparação de médias de Tukey (a nível de 5% de probabilidade). O mesmo foi descrito por Bonazza *et al.* (2019), ao estimar o volume médio individual da espécie *Pinus patula*, os autores constataram não haver diferença significativa no volume encontrado por meio dos métodos: fator de forma artificial, modelos volumétricos clássicos, polinômio de 5º grau e método dos dois diâmetros, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo.

Tabela 8 - Valores de F para o volume médio individual obtido pelos métodos propostos no estudo e o volume médio individual obtido pela cubagem rigorosa.

Espécie	F calculado		F tabelado
<i>Pinus caribaea</i>	0.1419 N.S.	<	2.5336
Híbrido	0.2431 N.S.	<	2.5336
<i>Pinus maximinoi</i>	0.2552 N.S.	<	2.5336
<i>Pinus oocarpa</i>	0.3195 N.S.	<	2.5336

Onde: N.S. = não significativa; \* = significativa (95% de probabilidade).

Fonte: Autor, 2021.



## CONCLUSÃO

A análise de variância mostrou que não há diferença significativa entre o volume obtido usando os diferentes métodos em relação ao volume obtido por meio da cubagem rigorosa. Sendo assim, teoricamente todos os métodos podem ser utilizados para estimar o volume das quatro espécies do gênero *Pinus* plantados na região de Mato Grosso do Sul. Porém, comparando estatisticamente os volumes obtidos no processo de cubagem com os volumes estimados obtidos por meio dos métodos de estimativa, observa-se que:

- Para as espécies *P. oocarpa*, *P. maximinoi* e o Híbrido, os modelos de volume individual de Naslund e Stoate apresentaram resultados estatísticos mais precisos.
- Para a espécie *P. caribaea* var. *caribaea*, o método dos dois diâmetros, obtido por meio da relação entre os diâmetros mensurados nas alturas 1,3 e 2 metros foi o método considerado mais preciso e com menor tendenciosidade.

## REFERÊNCIAS

- ATANAZIO, K. A.; VUADEN, E.; KREFTA, S. M.; KLEIN, D. R.; SCHORR, L. P. B.; CUCHI, T.; SOUZA, I. A.; GORENSTEIN, M. R.; PEREIRA, H. M. L. Fator de forma artificial para *Pinus taeda* L. em um povoamento localizado em Enéas Marques, PR. **Acta Biológica Catarinense**, p. 65-71, 2018.
- AZEVEDO, G. B.; SOUSA, G. T. O.; BARRETO, P. A. B.; JÚNIOR-CONCEIÇÃO, V. Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 309-318, 2011.
- BENCHERIF, K.; BELOUATEK, Y. Aleppo pine (*Pinus halepensis*. Mill) reforestation stem form study using natural form factors method. **Hal Archive Ouverte**, 2011.
- BONAZZA, M.; NICOLETTI, M. F.; CRUZ, G. S.; JUNIOR, N. S. N.; SAMPIETRO, J. A.; SILVA, P. H. B. M.; CYSNEIROS, V. C. Métodos para estimativas volumétricas de *Pinus patula*, **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v.6, n.2, p.673-679, 2019.
- CYSNEIROS, V. C.; MARTINS, A. P. M.; SCHMIDT, L. N.; ACCIOLY, Y.; MACHADO, S. A. Eficiência do método dos dois diâmetros para a estimativa volumétrica de *Mimosa scabrella* Benth. In: **Anais do VI Simpósio Latino Americano Sobre Manejo Florestal**, Santa Maria, RS, 2015.
- DRESCHER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; QUEIROZ, F. L. C. Fator de forma artificial de *Pinus elliottii* Engelm para a região da serra do sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.1, p.37-42, 2001.
- EMBRAPA FLORESTAS. **Cultivo de Pinus - Espécies de Pinus mais plantadas no Brasil**. 2ª Ed. jun., 2014.
- FADAEI, F.; FALLAH, A.; LATIFI, H.; MOHAMMADI, K. Determining the best form factor formula for Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) plantations at the age of 18, in Guilan- northern Iran. **Caspian Journal of Environmental Sciences**, v. 6, n. 1, p. 19-24, 2008.

FINA, B. G. **Caracterização fitofisionômica da fazenda Experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, município de Aquidauana MS.** Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, Rio Claro, 2009.

FRANCO, E. J.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. Eficiência dos métodos para estimativa volumétrica de *Eucalyptus camaldulensis*. **Cerne**, p. 82-116, 1997.

HOEFELICH, V. A.; ALVES, M. V. G.; KOEHLER, H. S.; MEDRADO, M. J. S. **The Brazilian Forest sector: challenges and strategies for its development.** In: XXII IUFRO World Congress, Brisbane, Queensland, 2005.

IAGRO. **Florestas (eucalipto, pinus, seringueira).** Disponível em: <<http://www.iagro.ms.gov.br/florestas-eucalipto-pinus-e-seringueira/>>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2020.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE: **Brasil tem 9,85 milhões de hectares de floresta plantada.** Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-09/ibge-brasil-tem-985-milhoes-de-hectares-de-florestas-plantadas>>. Acesso em: 10 de março de 2020.

KOHLER, S. V. **Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 88, 2013.

KOHLER, S. V.; RETSLAFF, F. A. S.; MÔRA, R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; WOLFF II, N. I. Diferentes métodos de ajuste do modelo volumétrico de Schumacher e Hall. In: **Anais do IV Congresso Florestal Paranaense**, 2012, Curitiba. Curitiba, 2012.

LEMO-JUNIOR, J. M.; SILVA-NETO, C. M.; SOUZA, K. R.; GUIMARÃES, L. E.; OLIVEIRA, F. D.; GONÇALVES, R. A.; MONTEIRO, M. M.; LIMA, N. L.; VENTUROLI, F.; CALIL, F. N. Volumetric models for *Eucalyptus grandis* x *urophylla* in a crop-livestock-forest integration (CLFI) system in the Brazilian cerrado. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 1336-1343, 2016.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest Inventory.** Munchen: BLV, v. 2, p.469, 1973.

LOPES, A. S.; OLIVEIRA, G. Q.; JUNG, L. H.; PACHECO, A. Avaliação do coeficiente do tanque classe A para a estimativa da evapotranspiração, **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 1 - 11, 2012.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; URBANO, E. Comportamento de fatores de forma em plantações de *Pinus oocarpa* com diferentes idades e número de desbastes. In: **8º Congresso Florestal Brasileiro**, São Paulo, 2003.

MACHADO, S. A.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; TÉO, S. J.; STOLLE, L.; URBANO, E. Modelagem volumétrica para bracatinga (*Mimosa scabrella*) em povoamentos da Região Metropolitana de Curitiba, **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 17-29, 2008.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. Comparação de métodos de estimativa de volume para o *Pinus oocarpa* em diferentes regimes de desbaste. **Bolsa de Pesquisa**. Colombo, p. 81-98, 2005.

MARTINS, A. P. M.; CARVALHO, D. E.; SCHMIDT, L. N.; GORENSTEIN, M. R.; CYSNEIROS, V. C. Eficiência de métodos para estimativa do volume total de *Corymbia citriodora*. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 2, p. 178-184, 2016.

MELO, L. C.; BARRETO, P. A. B.; OLIVEIRA, F. G. B.; NOVAES, A. B. Estimativas volumétricas em povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no sudoeste da Bahia, Curitiba, PR, **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 379-386, 2013.

NUNES, J. S.; SOARES, T. S. Estimativas volumétricas para um povoamento adensado de *Eucalyptus* sp. em regime de curta rotação. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 4, p. 77-86, 2017.

PELLICO NETTO, S. Estimativas volumétricas de árvores individuais – síntese teórica. **Revista Floresta**, Curitiba, v.11, n.2, p.63–73, 1980.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensuração Florestal**. San José, Costa Rica: IICA, p. 586, 1997.

SOUZA, C. A. M.; **Modelos de afileamento para *Pinus Taeda* L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 26, 2009.

THIERSCH, C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R.; DEHON, G. Acurácia dos métodos para estimativa do volume comercial de clones de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 167-181, 2006.

TOMÉ JR, J.B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, p. 247, 1997.