

## QUANTIDADE DE ÁRVORES CUBADAS DE PINHO NO AJUSTE DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS REGIONAIS

Valdir Carlos Lima de Andrade<sup>1\*</sup>, Thaís Schmitt<sup>2</sup>

SAP 20149 Data envio: 09/08/2018 Data do aceite: 16/09/2018  
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 3, jul./set., p. 344-351, 2018

**RESUMO** - No ajuste de modelos volumétricos regionais se relaciona o volume de árvores individuais com o diâmetro e altura destas, o que é necessário conhecer o volume real de madeira das árvores. Isso exige o emprego de um método de cubagem rigorosa em algumas árvores selecionadas em diferentes classes diamétricas na população em que se visa gerar uma equação volumétrica. Assim, a partir de uma amostra com 50 árvores cubadas de pinho, foram gerados alguns bancos de dados contendo diferentes quantidades de árvores cubadas em diferentes amplitudes de classes diamétricas, com o objetivo de avaliar o ajuste de modelos volumétricos regionais nestes diferentes dados de cubagem. Para isso, foram utilizados os critérios estatísticos: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão residual e análise gráfica de resíduos. Concluiu-se por dois modelos volumétricos como de melhores ajustes. Também, concluiu-se que: se deve utilizar um banco de dados contendo cinco árvores cubadas por classe diamétrica com a amplitude de 3 cm cada; que, dentre os modelos usuais no Brasil, o modelo de Takata se sobressaiu ao modelo de Schumacher e Hall; e que o modelo selecionado deve ser ajustado sem o coeficiente  $\delta_1$ .

**Palavras-chave:** fórmula de Huber, biometria florestal, volumetria.

## QUANTITY OF CUBED PINE TREES IN THE ADJUSTMENT OF REGIONAL VOLUMETRIC MODELS

**ABSTRACT** - In the adjustment of regional volumetric models, the volume of individual trees is related to their diameter and height, which is necessary to know the actual volume of wood of the trees. This requires the use of a rigorous cubing method in some selected trees in different diametric classes in the population in which it is intended to generate a volumetric equation. Therefore, the objective of this work was to evaluate the adjustment of volumetric models to the pine data using different amounts of trees cubed in different amplitudes of diameter classes. Thus, from a sample with 50 pine-borne trees, some databases were generated containing different amounts of trees cubed in different diametric class amplitudes, in order to evaluate the adjustment of regional volumetric models in these different cubing data. For that, the statistical criteria were used: adjusted coefficient of determination, residual standard error and graphical analysis of residues. It was concluded by two volumetric models as the best adjustments. Also, it was concluded that: a database should be used containing five trees cubed by diameter class with the amplitude of 3 cm each; that, among the usual models in Brazil, the Takata model excelled the Schumacher and Hall model; and that the selected model should be adjusted without the coefficient  $\delta_1$ .

**Keywords:** Huber formula, forest biometry, volumetry.

### INTRODUÇÃO

Apesar de ter ocorrido uma redução na área plantada com o gênero *Pinus* no Brasil, ainda existem extensas áreas florestais no país formadas com este gênero chegando a cerca de 1,6 milhão de ha. Além disso, o pinho é uma das principais fontes de madeira para o consumo nacional e à exportação, como a celulose e papel (mais de 98% do volume produzido vem de plantios de pinho e eucalipto), painéis de madeira (Brasil é destaque mundial de fabricação), lenha, pisos laminados e produtos sólidos de madeira, em cujos usos demonstram tendência de crescimento a cada ano (IBÁ, 2017).

Diante disso, se observa a grande importância de um planejamento que vise o uso racional e sustentável da produção madeireira nos plantios brasileiros com pinho. Isso exige conhecer o estoque volumétrico de madeira,

pois, conforme Leite e Andrade (2002), Machado et al. (2002) e Melo et al. (2013), esta é uma das mais importantes informações para nortear as decisões quanto ao uso da madeira disponível nos povoamentos florestais, dos quais, se constituem os plantios com pinho. Nesse caso, se empregam modelos volumétricos, especialmente, os modelos de dupla entrada, ou, dito regionais.

Modelos volumétricos, para quantificar o volume de madeira em árvores individuais de pinho, já foram muito testados em diferentes regiões do Brasil, como se nota nos estudos feitos por Machado et al. (2002), Moraes Neto (2009), Pelissari et al. (2011), Téó et al. (2011), Melo et al. (2013), Móra et al. (2014), Silvestre et al. (2014), Mendonça et al. (2015), Aragão et al. (2016) e Ferrari et al. (2017). Nesses estudos, se verificou uma superioridade dos modelos volumétricos de Schumacher e Hall, Naslund,

<sup>1</sup>Engenheiro Florestal, Docente do curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Tocantins (UFT), Rua Badejos, L7, Chácaras 69/72, Gurupi, Tocantins, Brasil. E-mail: [vclandrade@uft.edu.br](mailto:vclandrade@uft.edu.br). \*Autor para correspondência.

<sup>2</sup>Engenheira Florestal, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Universidade Federal do Tocantins (UFT), Rua Badejos, L7, Chácaras 69/72, Gurupi, Tocantins, Brasil. E-mail: [thais.schmitt93@gmail.com](mailto:thais.schmitt93@gmail.com).

Takata, Stoate, Prodan, Spurr e Meyer, conforme constam suas relações funcionais e referências bibliográficas em Loetsch et al. (1973) e Miguel et al. (2014).

Por outro lado, para o ajuste de modelos volumétricos regionais, é preciso conhecer o volume real para relacioná-lo com o diâmetro e a altura das árvores. Nesse caso, é preciso cubar algumas árvores de forma à contemplar toda a distribuição diamétrica da população onde se quer gerar e aplicar uma equação volumétrica. Dessa exigência, se verifica uma diversificação do número de árvores cubadas de pinho e, também, de amplitudes de classes diamétricas, por exemplo, variando de 30 a 96 árvores cubadas com amplitudes 3 cm a 5 cm por classe, como se observa nos estudos feitos por Melo et al. (2013), Mendonça et al. (2015), Aragão et al. (2016) e Ferrari et al. (2017).

Quanto ao número de árvores cubadas, Melo et al. (2013) cubaram 30 árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* distribuídas em cinco classes diamétricas com amplitude de 4 cm cada. No trabalho de Mendonça et al. (2015) com *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa*, foram cubadas 59 e 46 árvores, respectivamente, distribuídas em cinco classes diamétricas com amplitude de 3 cm cada. Aragão et al. (2016), trabalhando com *P. oocarpa* e *P. caribaea* var. *hondurensis*, cubaram 40 árvores de cada espécie distribuídas em classes diamétricas tendo uma amplitude de 5 cm cada uma. Por fim, Ferrari et al. (2017), trabalhando com *P. elliotii*, cubaram entre 25 a

96 árvores em cinco diferentes locais distribuídas em classes diamétricas tendo uma amplitude de 5 cm cada.

Diante do exposto, pôde-se ver a necessidade em verificar a quantidade de árvores de pinho que devem ser cubadas e em que amplitude de classes diamétricas. Sendo assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o ajuste de modelos volumétricos de dupla entrada aos dados de pinho, utilizando quantidades de árvores cubadas e em amplitudes de classes diamétricas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas 50 árvores de pinho cubadas, plantadas em espaçamento de 3 x 2 m, com 21 anos de idade e 5 anos de desbaste. Esse plantio está localizado na região nordeste do estado de Goiás, com 819 m de altitude, coordenadas geográficas de 14°4'56" Sul (latitude) e 46°22'40" Oeste (longitude), além de clima predominantemente tropical de estação definida pela seca (classificação climática de Köppen-Geiger como Aw) (MOREIRA, 1995).

A coleta dos dados de cubagem (CAMPOS; LEITE, 2013), em classes diamétricas tendo 5 cm de amplitude cada (Tabela 1), se deu com medições do diâmetro em seções de 1,4 m. Devido às deformações existentes na base das árvores, para o cálculo do volume do fuste aplicou-se a fórmula de Huber a partir de 0,1 m. Medições do diâmetro da planta também foram realizadas em 0,3 m; 0,8 m e 1,3 m.

**TABELA 1** - Distribuição de frequência de 50 árvores de pinho cubadas na região nordeste de Goiás.

Classe D	Classe de altura							Total
	H ≤ 11	11 < H ≤ 13	13 < H ≤ 15	15 < H ≤ 17	17 < H ≤ 19	19 < H ≤ 21	H > 21	
D* ≤ 10	7	2	1					10
10 < D ≤ 15	1	5	4					10
15 < D ≤ 20			3	5	2			10
20 < D ≤ 25			1	3	2	4		10
25 < D				2	1	5	2	10
Total	8	7	9	10	5	9	2	50

\*D = diâmetro das árvores cubadas medido a 1,3m do solo (cm), H = altura total das árvores cubadas (m).

Na Tabela 2 são apresentados dez bancos de dados de cubagem tendo diferentes amplitudes de classes diamétricas e quantidades de árvores cubadas, os quais, obtidos pela seleção casual dentre as 50 árvores originalmente cubadas (BDO), foram utilizados para verificar se existe uma amplitude de classe diamétrica, bem como, de uma quantidade de árvores cubadas, que resulte num nível de ajuste de modelos volumétricos regionais o mais parecido possível ao ajuste obtido com as 50 árvores da Tabela 1.

Inicialmente, por meio da dispersão do volume em relação do diâmetro e da altura das árvores, os bancos de dados da Tabela 2 foram analisados visualmente sobre o quanto se aproximou da caracterização representada pela dispersão com 50 árvores. Na sequência, em cada banco de dados de cubagem selecionado, foi realizado o ajuste dos seguintes modelos volumétricos (ANDRADE, 2017):

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D) + \beta_2 \ln(H) + \varepsilon \quad (01)$$

$$(v) = \frac{(D^2H)}{\beta_0 + \beta_1(D)} + \varepsilon \quad (02)$$

$$(v) = \delta_1 D^{(\delta_1-1)} e^{[\delta_2 + (H-1)^{\delta_3}]} + \varepsilon \quad (03)$$

$$\sqrt{(v)} = [\delta_1 + (H-1)^{\delta_2}] e^{\left\{ 1 - e^{\left[ \delta_3 \left( \frac{H}{D} \right)^{\delta_4} \right]} \right\}} + \varepsilon \quad (04)$$

$$\left( \frac{v}{D} \right) = \delta_1 [D^{(\delta_2-1)}] [1 + e^{(-\delta_3 H)}]^{(\frac{-1}{\delta_4})} + \varepsilon \quad (05)$$

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(H) + \beta_2 \ln(1 + D) + \ln(\varepsilon) \quad (06)$$

Em que:

v = volume real (m<sup>3</sup>),

Ln = logaritmo neperiano,

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \delta_1, \delta_2, \delta_3$  e  $\delta_4$  = coeficientes de regressão a serem estimados,

$\varepsilon$  = erro aleatório do modelo.

Os demais foram previamente definidos.

Quantidade de árvores...

ANDRADE, V. C. L. & SCHMITT, T. (2018)

Na avaliação do ajuste dos modelos 1 a 6, além da análise da distribuição de resíduos, foram adotados os seguintes critérios estatísticos:

$$R^2_{aj} = \left[ 1 - \left( \frac{SQR}{SQT} \right) \left( \frac{n-1}{n-p} \right) \right] \quad (07)$$

$$sv\hat{v}\% = \left[ \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-p}}}{\bar{v}} \right] 100 \quad (08)$$

Em que:

$i$  =  $i$ -ésima árvore cubada,

$R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado,

$n$  = total de árvores cubadas;

$p$  = número de coeficientes estimados do modelo,

$\hat{v}_i$  = volume estimado,

$sv\hat{v}$  = erro padrão da estimativa,

$\bar{v}$  = média do volume real. Demais previamente definidos.

Como análise final, empregando-se o teste de  $t$  de *student*, procedeu-se a verificação das estimativas dos

coeficientes de regressão do modelo de melhor ajuste aos dados de pinho.

Também, na verificação das pressuposições da regressão quanto a normalidade, homocedasticidade e independência de resíduos (SCHENEIDER et al., 2009), aplicou-se, a 5% de probabilidade de erro, os testes estatísticos Shapiro-Wilk, Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) e Anderson-Darling para normalidade, com aceitação desta se pelo menos dois desses testes forem não significativos; o teste de Bartlett para avaliar a homogeneidade de variâncias (homocedasticidade) e o teste de Darbin-Watson para verificar a independência de resíduos.

Para a situação descrita acima, foram avaliadas três hipóteses (ou provas):

Prova de normalidade:  $H_0$  = a distribuição testada segue a distribuição normal e  $H_a$  = a distribuição testada não segue a distribuição normal.

Prova de homocedasticidade:  $H_0$  = as variâncias são iguais e  $H_a$  = pelo menos uma variância é diferente.

Prova de independência:  $H_0$  = não existe correlação em série e  $H_a$  = existe correlação em série.

**TABELA 2** - Bancos de dados com diferentes classes diamétricas e número de árvores cubadas de pinho.

BDC*	ACD (cm)	nACD	nCD	n
1	3	3	8	24
2	3	5	8	40
3	5	3	6	18
4	5	5	6	30
5	5	7	6	40
6	7	5	4	20
7	7	7	4	28
8	7	9	4	36
9	10	7	3	21
10	10	9	3	27
BDO	5	10	5	50

\*BDC = banco de dados de cubagem, BDO = banco de dados contendo as 50 árvores inicialmente cubadas, ACD = amplitude de classe diamétrica, nACD = número de árvores cubadas por classe de diâmetro, nCD = número de classes diamétricas, n = total de árvores selecionadas ao acaso dentre as 50 árvores cubadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na análise descritiva dos dados (Tabela 3) 50% das árvores de pinho possuem diâmetro variando entre 10,9 e 22,3 cm, altura entre 11,3 a 16,2 m e

volume entre 0,0496 a 0,2939 m<sup>3</sup>. Também, considerando-se a amplitude total, se observa uma variação de 27,4 cm para diâmetro, 15,6 m para altura e 0,8142 m<sup>3</sup> para volume.

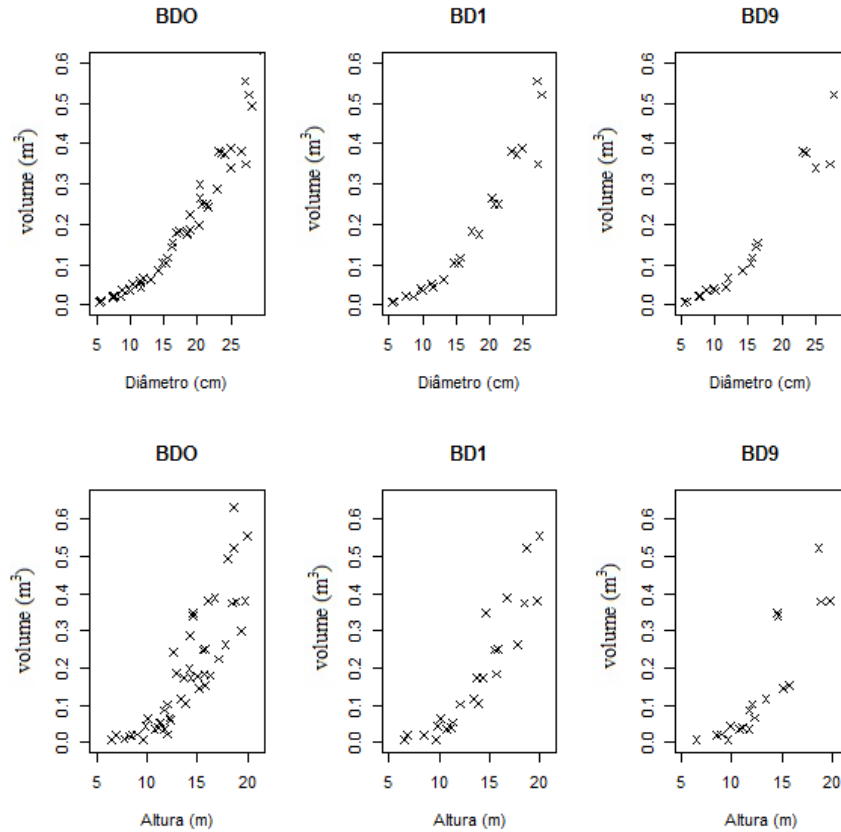
**TABELA 3** - Estatísticas descritivas de 50 árvores cubadas de pinho no nordeste de Goiás.

Estatísticas descritivas	Diâmetro (cm)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
Mínimo	5,4	6,5	0,0073
Média	17,5	14,1	0,2160
Máximo	32,8	22,1	0,8215
CV(%)	43,7	27,4	93,1
P25(%)	10,9	11,3	0,0496
P75(%)	22,3	16,2	0,2939

CV(%) = coeficiente de variação, P25(%) = percentil 25, P75(%) = percentil 75.

Na análise dos dez bancos de dados (Tabela 2), inicialmente, por meio da dispersão do volume com diâmetro e altura, decidiu-se pela exclusão de alguns deles por não apresentarem uma distribuição característica da que foi representada pela dispersão dos dados originais com 50 árvores, o qual foi denominado: banco de dados original (BDO). Como resultado, foram excluídos quatro bancos de dados, os quais, 3, 6 e 9.

Visando ilustrar os bancos de dados excluídos, concentra-se a análise nos bancos de dados 1 (BD1) e 9 (BD9), que destacaram uma dispersão do volume com tendência menos parecida da que foi caracterizada por BDO (Figura 1), principalmente, para árvores com D e H maiores que 20 cm e 13 m, respectivamente. Isso ocorreu, provavelmente, por BD1 ter um total de 24 árvores distribuídas com apenas 3 indivíduos por classe.



**FIGURA 1** - Dispersão do volume em relação do diâmetro e altura para três bancos de dados de cubagem de pinho. BDO, BD1 e BD9 = banco de dados original, 1 e 9.

Apesar de alguns bancos de dados terem maior quantidade de árvores por classe de diâmetro, como é o caso do BD9, se observa que o mesmo contém apenas 7 indivíduos por classe para representar uma alta amplitude de 10 cm (Tabela 2). São poucos indivíduos distribuídos por classe que totalizaram apenas 21 árvores cubadas para caracterizar uma amplitude total de 27,4 cm de diâmetro (Tabela 3). Para os demais seis bancos de dados da Tabela 2 (2, 4, 5, 7, 8 e 10), procedeu-se ao ajuste dos modelos 1 a 6 onde se obteve coeficientes de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) bastante semelhantes, com valores acima de 0,990.

As medidas de  $R^2_{aj}$  apresentaram excelentes resultados, muito semelhantes ao que foi obtido por Pelissari et al. (2011), Silvestre et al. (2014) e Ferrari et al. (2017) e melhores que os valores obtidos por Melo et al. (2013) e Aragão et al. (2016). Por serem excelentes resultados de  $R^2_{aj}$  ( $> 0,990$ ), este critério não fornece uma

base conclusiva para inferir sobre o melhor modelo e banco de dados de cubagem.

Por outro lado, considerando-se os seis bancos de dados selecionados, obteve-se resultados do erro padrão da estimativa ( $sv\hat{v}$ ) muito semelhantes ao que foi obtido por Pelissari et al. (2011) e Ferrari et al. (2017) e bem melhores aos valores obtidos por Melo et al. (2013), Silvestre et al. (2014) e Aragão et al. (2016). Nesse caso, por se evidenciar grandes diferenças, os quais variaram de  $\pm 5,81\%$  a  $\pm 10,26\%$ , pode-se basear neste critério  $sv\hat{v}$  a fim de gerar uma classificação de cada modelo volumétrico dentro de cada um dos seis bancos de dados (Tabela 4). A menor média ponderada, resultou em  $sv\hat{v} = \pm 6,35\%$  para o banco de dados 2 (BD2). Dentro deste, pode-se verificar que os modelos 3 e 4 se sobressaíram com  $sv\hat{v}$  de  $\pm 6,08\%$  e  $\pm 5,99\%$ , respectivamente.

**TABELA 4** - Resultados do erro padrão da estimativa obtidos para o ajuste de seis modelos volumétricos, utilizando seis bancos de dados de cubagem de árvores de pinho.

BDC	Modelos volumétricos						MP
	1	2	3	4	5	6	
BDC2	6,65 <sup>1*</sup>	6,26 <sup>1</sup>	6,08 <sup>2</sup>	5,99 <sup>2</sup>	6,13 <sup>2</sup>	7,12 <sup>2</sup>	6,35
BDC4	7,36 <sup>2</sup>	6,85 <sup>2</sup>	6,82 <sup>3</sup>	8,32 <sup>3</sup>	7,23 <sup>3</sup>	6,78 <sup>1</sup>	7,31
BDC5	8,64 <sup>3</sup>	7,59 <sup>4</sup>	7,92 <sup>4</sup>	8,76 <sup>4</sup>	8,01 <sup>4</sup>	7,80 <sup>3</sup>	8,11
BDC7	8,82 <sup>4</sup>	6,98 <sup>3</sup>	5,81 <sup>1</sup>	5,88 <sup>1</sup>	5,93 <sup>1</sup>	8,81 <sup>5</sup>	7,86
BDC8	9,56 <sup>6</sup>	8,76 <sup>6</sup>	9,18 <sup>6</sup>	10,26 <sup>6</sup>	9,12 <sup>6</sup>	9,00 <sup>6</sup>	9,31
BDC10	9,26 <sup>5</sup>	8,11 <sup>5</sup>	8,60 <sup>5</sup>	10,09 <sup>5</sup>	8,99 <sup>5</sup>	8,45 <sup>4</sup>	8,93

BDC = banco de dados de cubagem, MP = média ponderada considerando a classificação do erro padrão da estimativa (%), \*valores em expoente se referem a classificação do erro padrão da estimativa em cada BDC.

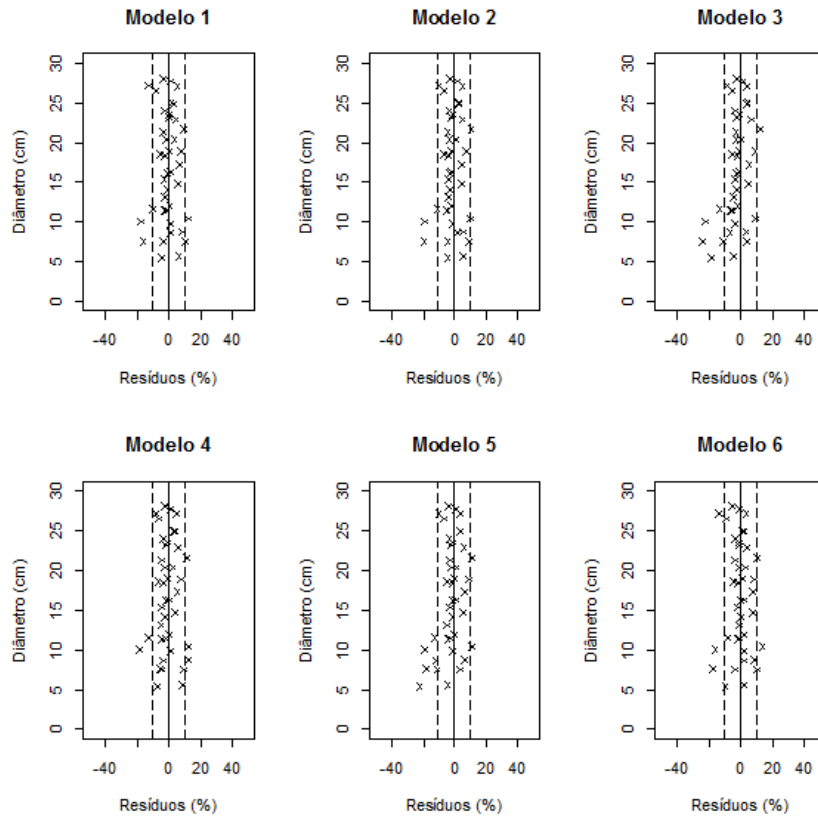
Da Tabela 4, também, em todos os bancos de dados, pode-se ver que o modelo de Takata (modelo 2) superou o modelo de Schumacher e Hall (modelo 1), um dos mais difundidos no Brasil. Os demais modelos mostraram-se superiores no BD2, com destaque para o modelo 3 que se mostrou mais estável tendo menor variação de  $sv\hat{v}$  dentre os seis bancos de dados analisados. Comportamento também, resultante para os modelos 2 e 6, permitindo inferir sobre a sua estabilidade frente aos demais modelos. Assim, pode-se destacar o uso da variável independente  $\ln(1+D)$  do modelo 6 ser preferível à  $\ln(D)$  do modelo Schumacher e Hall (modelo 1).

Para melhor embasar a decisão pelo modelo volumétrico de melhor ajuste no BD2, elaborou-se a

Figura 2 onde se observa uma boa distribuição dos resíduos com exceção para os modelos 3 e 5 que mostram tendência a superestimativa do volume de árvores com  $D < 12$  cm. Os demais modelos 1, 2, 4 e 6 apresentaram uma similar distribuição de resíduos com melhor comportamento para o modelo 4, o qual gerou a seguinte equação volumétrica regional (Eq. 1):

$$\sqrt{(\hat{v})} = [2,56241 + (H - 1)^{1,43388}]e^{\left\{1 - e^{\left[1,77155\left(\frac{H}{D}\right)^{0,09936}\right]}\right\}} \quad (\text{Eq. 1});$$

com  $R^2_{aj} = 0,995$  e  $sv\hat{v} = \pm 5,99\%$ .

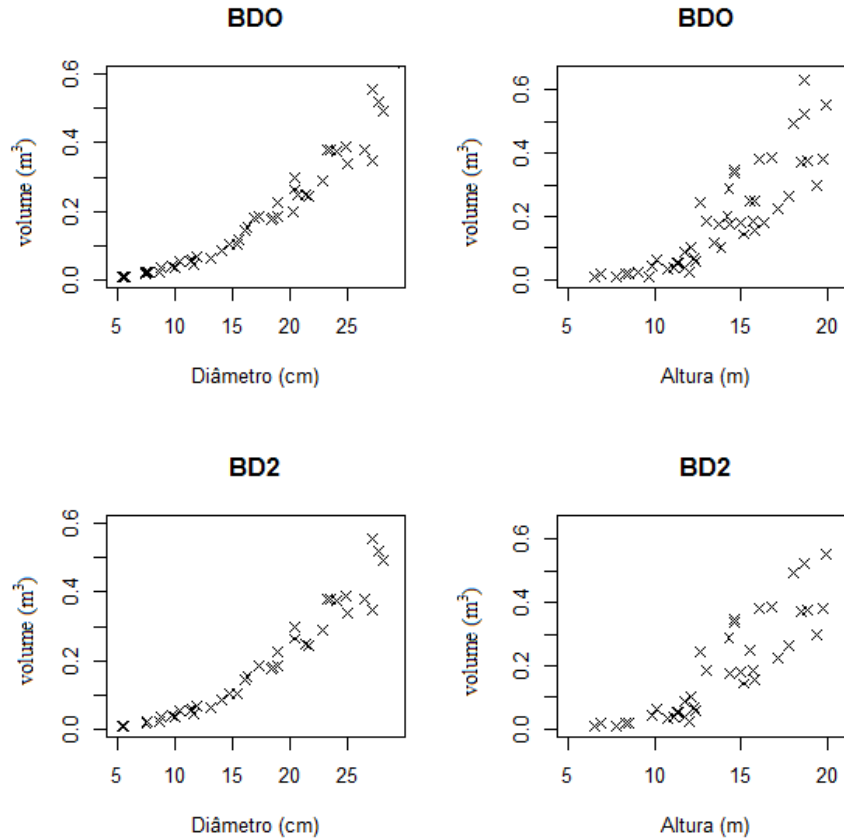
**FIGURA 2** - Distribuição de resíduos para seis modelos volumétricos ajustados para árvores de pinho cubadas, utilizando o banco de dados 2.

Quantidade de árvores...

ANDRADE, V. C. L. & SCHMITT, T. (2018)

Visando ilustrar o banco de dados selecionado BD2, é apresentada na Figura 3 a dispersão do volume em relação do diâmetro e da altura, onde se observa uma tendência bem parecida da que foi caracterizada por BDO, isto é, as 40 árvores do BD2 captaram a mesma variação demonstrada por BDO com 50 árvores, o que, do ponto de

vista técnico-operacional, promoveu uma redução em torno de 20% do número de árvores cubadas. Portanto, para o ajuste de modelos volumétricos em plantios de pinho no nordeste de Goiás, são suficientes cubar cinco árvores por classe diamétrica tendo a amplitude de 3 cm.



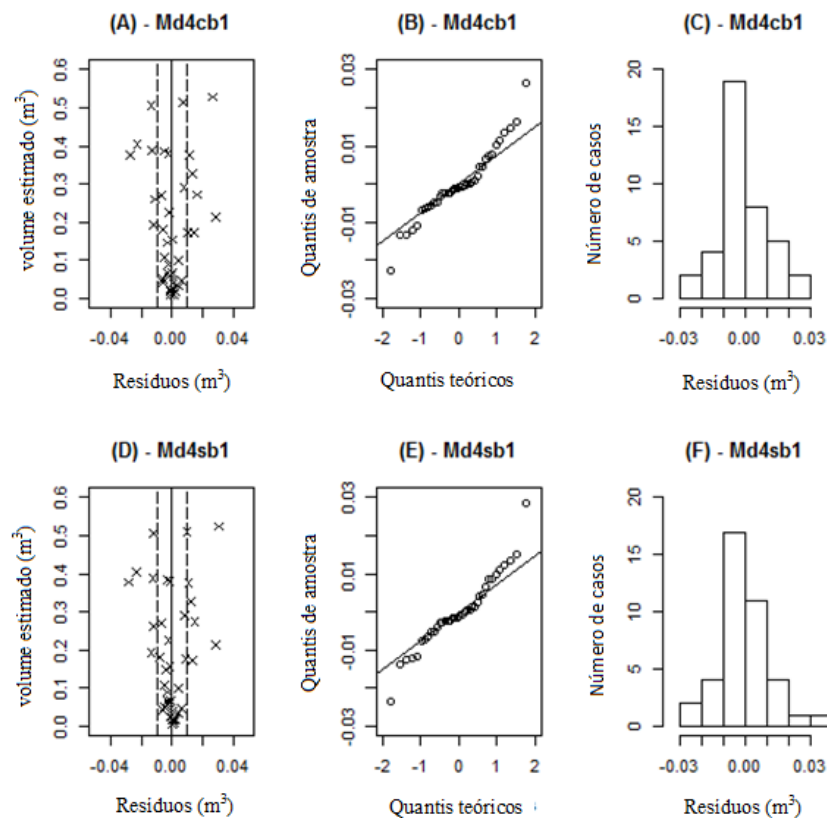
**FIGURA 3** - Dispersão do volume em relação do diâmetro e altura para dois bancos de dados de cubagem de árvores de pinho. BDO e BD2 = banco de dados original e 2.

Em uma análise das estimativas dos coeficientes de regressão do modelo 4, o qual gerou a equação 1, pôde-se observar estimativas altamente significativas ( $p\text{-value}=0,0001$ ) para todos os coeficientes, havendo não significância apenas para o coeficiente  $\delta_1$  ( $p\text{-value}=0,430$ ). Neste caso, procedendo-se ao ajuste sem  $\delta_1$ , obteve-se estimativas altamente significativas para todos os demais coeficientes ( $p\text{-value}=0,0001$ ), resultando na seguinte equação volumétrica regional (Eq. 2):

$$\sqrt{(\hat{v})} = [(H - 1)^{1,34547}] e^{\left\{ 1 - e^{\left[ 1,72011 \left( \frac{H}{D} \right)^{0,10744} \right]} \right\}} \quad (\text{Eq. 2});$$

com  $R^2_{aj} = 0,994$  e  $sv\hat{v} = \pm 6,99\%$ .

Considerando-se a equação 2 (Eq 2), se observa que ocorreu uma perda não muito expressiva em comparação com a equação 1, pois, ainda se manteve um excelente nível de ajuste com  $R^2_{aj} > 0,990$  e  $sv\hat{v}$  com aumento de apenas 1% ( $\pm 5,99$  da equação 1 *versus*  $\pm 6,99\%$  da equação 2). Também, se observa que a equação 2 resultou em uma distribuição de resíduos bem similar à obtida com o emprego da equação 1 (Figura 4).



**FIGURA 4** - Distribuição de resíduos para o ajuste do modelo 4 com e sem o coeficiente  $\delta_1$  (Eq. 2) utilizando o banco de dados 2. Md4cb1 e Md4sb1 = modelo 4 com e sem o ajuste do coeficiente  $\delta_1$ , respectivamente.

Como análise final, foram verificadas as pressuposições da regressão avaliando-se a normalidade, homocedasticidade e independência de resíduos (Tabela 5). Neste caso, pelo teste de Bartlett, houve significância apenas na homocedasticidade para a Eq. 1 (p-value = 0,012), havendo nesta, uma heterogeneidade de variâncias.

Este resultado favorece a Eq. 2, dando propriedades estatísticas mais confiáveis em sua estimativa do que a Eq. 1. Por isso, para pinho no nordeste de Goiás, é mais prudente utilizar o modelo 4 sem o coeficiente  $\delta_1$ , resultando na estimativa da Eq. 2.

**TABELA 5** - Resultados obtidos para os testes estatísticos empregados na verificação da normalidade, homocedasticidade e independência de resíduos das Eq. 1 e 2.

Eq.*	Shapiro-Wilk	Lilliefors	Anderson-Darling	Bartlett	Darbin-Watson
1	0,978 <sup>ns</sup> (p-value 0,623)	0,128 <sup>ns</sup> (p-value 0,098)	0,409 <sup>ns</sup> (p-value 0,331)	12,888* (p-value 0,012)	1,967 <sup>ns</sup> (p-value 0,966)
2	0,988 <sup>ns</sup> (p-value 0,937)	0,095 <sup>ns</sup> (p-value 0,480)	0,225 <sup>ns</sup> (p-value 0,810)	6,119 <sup>ns</sup> (p-value 0,295)	1,768 <sup>ns</sup> (p-value 0,499)

\*Eq. = equação, <sup>ns</sup> = não significativo, \* = significativo a 5% de probabilidade de erro.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pôde-se concluir que o banco de dados 02 (BD2), foi o que demonstrou melhor variação dos dados comparando-se a amostra original de 50 árvores, reduzindo em 20% o número de árvores necessário para cubar de pinho. Também, ficou evidenciado que os modelos volumétricos 2 e 4 são os que melhor se ajustaram ao pinho na região de coleta dos dados.

Dentre os modelos usuais no Brasil, o modelo de Takata (modelo 2) sobressaiu-se ao modelo de Schumacher e Hall (modelo 1), devendo-se, então, ter

cautela ao utilizar o modelo 1 sem uma prévia avaliação com outros modelos, pois existe o risco de se utilizar um inapropriado modelo volumétrico regional.

O modelo 4 sem o coeficiente  $\delta_1$ , foi o de melhor ajuste aos dados de pinho dentre seis modelos volumétricos avaliados, para pinho no nordeste de Goiás.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, V.C.L. Modelos volumétricos de dupla entrada para aplicar em povoamentos florestais brasileiros. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.24, e00135415, 2017.

ARAGÃO, M.A.; GARCIA, P.A.B.B.; LEITE, M.V.S.; CARVALHO, F.F.; VIRGENS, A.P. Teste de identidade de modelos volumétricos para *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em povoamento misto no sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Biometria**, v.34, n.4, p.621-632, 2016.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4a. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013. 605p.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2017 - ano base 2016**. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)>. Acesso em: 8 set. 2018.

FERRARI, L.S.; NAKAJIMA, N.; SILVA, S.A.; ANSOLIN, R.D.; MOREIRA, D.; CIARNOSCHI, L.; KASPRZAK, L.F.F. Equações de volume para condução da regeneração natural de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Espacios**, v.38, n.42, p.19-30, 2017.

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

LOETSCH F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest inventory**. 2a. ed. Manchem: BLV, 1973. 479p.

MACHADO, S.A.; CONCEIÇÃO, M.B.; FIGUEIREDO, D.J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, v.4, n.2, p.185-196, 2002.

MELO, L.C.; BARRETO, P.A.B.; OLIVEIRA, F.G.R.B.; NOVAES, A.B. Estimativas volumétricas em povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no Sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.33, p.381-388, 2013.

MENDONÇA, A.R.; PACHECO, G.R.; VIEIRA, G.C.; ARAÚJO, M.S.; INTERAMNENSE, M.T. Identidade de modelos para estimativa do volume de pinus. **Revista Nativa**, v.3, n.4, p.281-286, 2015.

MIGUEL, E.P.; LEAL, F.A.; HONO, H.A.; LEAL, U.A.S. Modelagem na predição do volume individual em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Biometria**, v.32, n.4, p.584-598, 2014.

MÔRA, R.; FIGUEIREDO-FILHO, A.; KOHLER, S.V.; MIRANDA, R.O.V. Modelos para estimativas volumétricas de fuste de *Pinus taeda* L. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.19, p.1320-1332, 2014.

MORAES NETO, S.P. **Estimativas de volume de *Pinus tecunumanii* no Cerrado do Distrito Federal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 16p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 230).

MOREIRA, H.L. (Coord.). **Zoneamento geoambiental e agroecológico do Estado de Goiás: região nordeste**. Rio de Janeiro. IBGE/Divisão de Geociências do Centro-Oeste, 1995. 178p. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/downloads/ZAENE%20Relat%20C3%B3rio%20Final.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2018.

PELLISSARI, A.L.; LANSSANOVA, L.R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.31, n.67, p.173-181, 2011.

SCHNEIDER, P.R.; SCHNEIDER, P.S.P.; SOUZA, C.A.M. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria: FACOS-UFMS, 2009. 294p.

SILVESTRE, R.; BONAZZA, M.; STANG, M.; LIMA, G.C.P.; KOEPEL, D.A.; MARCO, F.T.; CIARNOSCHI, L.D.; SCARIOT, R.; MORÊS, D.F. Equações volumétricas em povoamentos de *Pinho taeda* L. no município de Lages - SC. **Revista Nativa**, v.2, n.1, p.1-5, 2014.

TÉO, S.J.; PAZ, R.A.; BORTONCELLO, A.C.; ROCHA, S.P.; COSTA, R.H. Modelagem do volume do povoamento para *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm., na região de Caçador - SC. **Unoesc & Ciência**, v.2, n.2, p.193-204, 2011.



Quantidade de árvores...

ANDRADE, V. C. L. & SCHMITT, T. (2018)