

## MODELOS VOLUMÉTRICOS DE DUPLA ENTRADA AVALIADOS PARA *Pinus caribaea* VAR. *Hondurensis* NO MUNICÍPIO DE POSSE, GOIÁS

Valdir Carlos Lima de ANDRADE<sup>1</sup>  
Thaís SCHMITT<sup>2</sup>

- RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar 20 modelos volumétricos para um plantio de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* localizado no município de Posse, Estado de Goiás. A base de informações foi composta de 50 árvores-amostra cubadas rigorosamente para o emprego da fórmula de Huber no cálculo do volume real do fuste. Preliminarmente, os modelos volumétricos foram avaliados por meio do coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e análise gráfica residual. Em seguida, os modelos selecionados foram avaliados por classe de diâmetro através dos critérios estatísticos: correlação linear e soma de quadrados dos resíduos relativos. Concluiu-se que os melhores modelos volumétricos foram 3, 14, 15 e 17, dentre os quais, o modelo 14 por ser desenvolvido a partir do modelo biomatemático logístico, este foi considerado o mais adequado para uso no plantio da espécie e região amostrada.
- PALAVRAS-CHAVE: Volumetria, *Pinus*; biometria florestal; cubagem por Huber.

### 1 Introdução

O *Pinus* se tornou amplamente cultivado no Brasil devido à introdução de diversas espécies com fins madeireiros, principalmente, em áreas cujas características de solo e clima desestimulavam a atividade agrícola. Este mérito pode ser atribuído à ampla variação de condições ambientais em sua distribuição original, o que propiciou alta variabilidade genética e, conseqüentemente, a adaptação do gênero às diversas condições ecológicas (SHIMIZU, 2006).

Dentre as espécies de *Pinus* mais cultivadas no Brasil, está o *Pinus caribaea* que engloba três variedades, dentre as quais, a *hondurensis* se destaca pela alta qualificação de sua madeira para extração de resina e produção de papel e celulose, além de ser muito utilizada para o processamento mecânico em serrarias. Neste âmbito, por ser uma informação básica na tomada de decisões relacionadas à produção ordenada de madeira, o conhecimento do volume em estoque nos plantios com *Pinus caribaea* var *hondurensis* torna-se de fundamental necessidade, o que se exige o emprego de equações volumétricas.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins - UFT, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Departamento de Engenharia Florestal, Cx.postal 66, CEP: 77402-970, Gurupi, TO, Brasil. E-mail: vclandradeuft@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Tocantins, Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais, Cx. postal 66, CEP: 77402-970, Gurupi, TO, Brasil. E-mail: thaisschmitt93@gmail.com.

O emprego de equações volumétricas constitui-se, então, em uma ferramenta muito importante para o conhecimento do potencial madeireiro disponível em um povoamento florestal, cujos coeficientes são determinados por regressão empregando-se o volume como variável dependente associado a variáveis independentes de fácil mensuração, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura (THOMAS *et al.*, 2006, MACHADO *et al.*, 2002).

Para a região do Estado de Goiás, os estudos sobre volumetria do gênero *Pinus* ainda são inexistentes. Sendo assim, este trabalho teve por objetivo avaliar modelos volumétricos de dupla entrada para um povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, localizado no município de Posse, Estado de Goiás.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Caracterização da área de estudo e coleta de dados

Os dados utilizados nesse trabalho foram obtidos em um plantio de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, implantado com espaçamento inicial de 3 × 2 m e tendo 21 anos de idade com 5 anos de desbaste. Tal plantio, de localização na região do município de Posse, Estado de Goiás (Figura 1) com coordenadas geográficas: 14° 4' 56" Sul (Latitude) e 46° 22' 40" Oeste (Longitude), tem clima tropical com estação definida pela seca (Classificação climática de Köppen-Geiger: Aw) e altitude de 819 m.

A coleta de dados constituiu-se de uma cubagem rigorosa feita em 50 árvores-amostra para posterior aplicação da fórmula de Huber no cálculo individual do volume real do fuste. Para isto, foram utilizadas seções de 1,4 m devido a ser o comprimento de toragem adotado nas rotinas de colheita florestal do proprietário da área onde se coletou os referidos dados. Apenas na primeira tora, devido às deformações existentes na base das árvores, foram medidos os diâmetros situados a 0,3 m, 0,8 m e 1,3 m para efeito do volume desta tora a partir de 0,1 m. Já, da segunda tora em diante, foram medidos os diâmetros situados a 2,2, 3,6 m e, sucessivamente, a cada 1,4 m até um diâmetro mínimo em torno de 3,0 cm com casca.

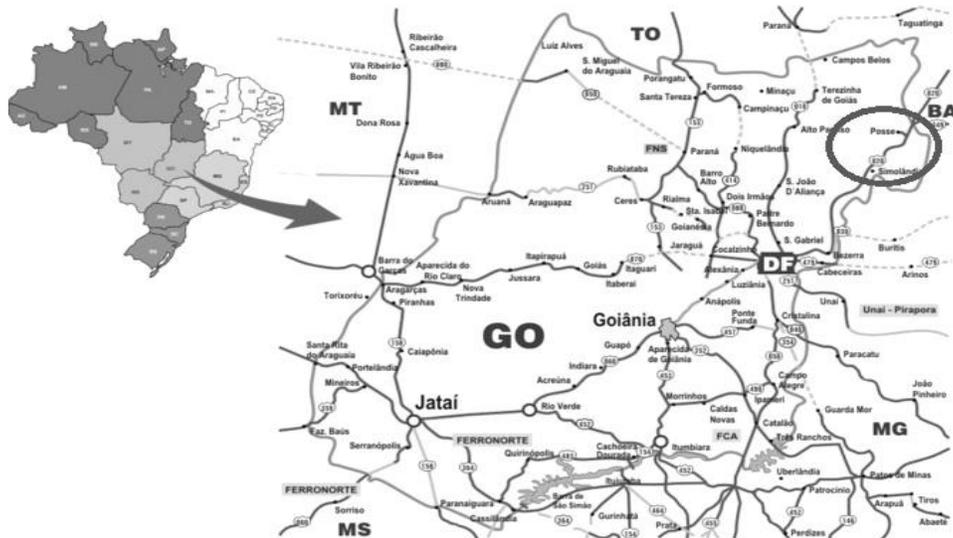


Figura 1 - Localização de Posse, Estado de Goiás, em cuja região se situa o plantio de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* onde foram coletados os dados utilizados neste trabalho.

## 2.1 Modelos volumétricos avaliados e critérios estatísticos de análise

Após a obtenção do volume real do fuste das 50 árvores-amostra cubadas, relacionou-se esta variável com o diâmetro medido a 1,3 m e a altura total de acordo com a conformação dos seguintes modelos volumétricos de dupla entrada:

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

$$(v) = \beta_0 + \beta_1 (D^2 H) + \varepsilon \quad (2)$$

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D^2 H) + \varepsilon \quad (3)$$

$$(v) = \beta_0 + \beta_1 (D) + \beta_2 (D^2) + \beta_3 (DH) + \beta_4 (D^2 H) + \varepsilon \quad (4)$$

$$(v) = \frac{(D^2 H)}{\beta_0 + \beta_1 (D)} + \varepsilon \quad (5)$$

$$(v) = \beta_0 + \beta_1 (D^2) + \beta_2 (D^2 H) + \beta_3 (DH^2) + \beta_4 (H^2) + \varepsilon \quad (6)$$

$$(v) = \beta_0 D^{(\beta_0 - 1)} \exp[\beta_1 + (H - 1)^{\beta_2}] + \varepsilon \quad (7)$$

$$(v) = (1 + D)^{\beta_0} \exp \left[ \beta_1 + \beta_2 \left( \frac{D}{H} \right) \right] + \varepsilon \quad (8)$$

$$(v) = \beta_0 (1 + D)^{\beta_1} \exp[H^{(\beta_2)}] + \varepsilon \quad (9)$$

$$\sqrt{(v)} = \left( \frac{\beta_0}{\beta_1} \right) - \{ \beta_0 (D + \beta_2) + \beta_1 [1 - (D^2 H)^{\beta_3}] \} + \varepsilon \quad (10)$$

$$\sqrt{(v)} = \frac{[\beta_0(D^2H) - \beta_1]^{\beta_2}}{\exp\left[1 - \beta_3\left(\frac{1}{D}\right)\right]} + \varepsilon \quad (11)$$

$$\sqrt{(v)} = \frac{[\beta_0(D^2H) - \beta_1]^{\beta_2}}{\left\{1 + \exp\left[-\beta_3\left(\frac{1}{D}\right)\right]\right\}} + \varepsilon \quad (12)$$

$$\sqrt{(v)} = [\beta_0 + (H - 1)^{\beta_1}] \exp\left\{1 - \exp\left[\beta_2\left(\frac{H}{D}\right)^{\beta_3}\right]\right\} + \varepsilon \quad (13)$$

$$\left(\frac{V}{D}\right) = \beta_0[D^{(\beta_1-1)}][1 + \exp(-\beta_2H)]^{\left(\frac{-1}{\beta_3}\right)} + \varepsilon \quad (14)$$

$$\left(\frac{V}{D}\right) = \beta_0[D^{(\beta_1-1)}][\beta_2 + (\beta_3 - \beta_2)\exp(-\beta_4H)] + \varepsilon \quad (15)$$

$$\left(\frac{V}{D}\right) = [D^{(\beta_0-1)}][-\beta_1 + \exp(\beta_2H)] + \varepsilon \quad (16)$$

$$\left(\frac{V}{D}\right) = [D^{(\beta_0-1)}][\beta_1 + \exp(-\beta_2 + H^{\beta_3})] + \varepsilon \quad (17)$$

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(H) + \beta_2 \ln(1 + D) + \ln(\varepsilon) \quad (18)$$

$$(v) = \beta_0 + \beta_1(D^2) + \beta_2(D^2H) + \beta_3(H) + \varepsilon \quad (19)$$

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{D}{H}\right) + \beta_2[\ln(1 + D)] + \ln\varepsilon \quad (20)$$

Em todas as equações de (1) a (20) temos que:  $v$  = volume real do fuste obtido por Huber ( $m^3$ ),  $D$  = diâmetro a 1,3m do solo (cm),  $H$  = altura total (m),  $\ln$  = logaritmo neperiano,  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  e  $\beta_4$  = coeficientes de regressão a serem estimados, e  $\varepsilon$  = erro aleatório do modelo.

Os modelos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 19 já foram testados em diferentes situações no Brasil, conforme se nota nos trabalhos feitos por Machado *et al.* (2002 e 2005), Thomas *et al.* (2006), Moraes Neto *et al.* (2009), Pelissari *et al.* (2011), Miguel *et al.* (2010), Melo *et al.* (2013), Leal *et al.* (2015), Miranda *et al.* (2015), cabendo destacar o modelo 1, que se refere ao modelo de Schumacher & Hall, um dos mais utilizados no país. Os demais modelos foram propostos por Andrade (2014).

Após o ajuste dos modelos volumétricos 1 a 20, utilizando-se rotinas do Software R (R CORE TEAM, 2015) procedeu-se a avaliação destes modelos por meio de um teste de validação com dados dependentes, conforme estudos conduzidos por Silvestre *et al.* (2014), Machado *et al.* (2005), Pelissari *et al.* (2011), Lima *et al.* (2014), Miranda *et al.* (2015), dentre outros. Neste caso, como critérios estatísticos de análise, preliminarmente, adotou-se o coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e análise da distribuição de resíduos empregando-se as seguintes fórmulas:

$$R^2_{aj} = \left[1 - \left(\frac{n-1}{n-p}\right)(1 - R^2)\right], \quad (21)$$

$$sv\hat{v} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2}{n - p}}, \quad (22)$$

$$svv\% = \left(\frac{Sv\hat{v}}{\bar{v}}\right) 100. \quad (23)$$

Nas equações de (21) a (23) temos que:  $i$  =  $i$ -ésima árvore,  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado,  $n$  = número de árvores cubadas utilizadas no ajuste dos modelos,  $p$  = número de coeficientes de regressão estimados,  $\hat{v}$  = volume estimado,  $sv\hat{v}$  = erro padrão da estimativa,  $\bar{v}$  = média do volume real do fuste obtido por Huber, demais já foram definidos.

Após esta análise preliminar, identificou-se os melhores modelos para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* amostrado neste trabalho. Em seguida, para definir o modelo volumétrico de melhor aplicação à referida região e espécie em questão, além da análise da distribuição de resíduos, procedeu-se a uma análise mais detalhada feita por classe de diâmetro, onde foram adotados os seguintes critérios estatísticos:

$$SQRR = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(v_i - \hat{v}_i)}{v_i} \right]^2 \quad (24)$$

$$rv\hat{v} = \left[ \frac{\sum v_i \hat{v}_i - \frac{(\sum v_i)(\sum \hat{v}_i)}{n}}{\sqrt{\sum (v_i - \bar{v})^2 \sum (\hat{v}_i - \bar{v})^2}} \right] 100 \quad (25)$$

em que nas equações (24) e (25) tem-se:  $SQRR$  = soma dos quadrados dos resíduos relativos,  $rv\hat{v}$  = correlação linear múltipla entre  $v$  e  $\hat{v}$ , demais já foram definidos.

Estes critérios, obtidos por classe de diâmetro, foram classificados por meio da atribuição de notas aos modelos em ordem crescente do melhor modelo e aumentando-se gradativamente até os piores modelos. Após classificar os modelos por classe de diâmetro, as notas obtidas foram englobadas em um único valor contendo a somatória geral de acordo com a classificação das estatísticas  $SQRR$  e  $rv\hat{v}$ . Tal somatório geral, através do menor valor e aliado à análise da distribuição de resíduos, indicou o melhor modelo volumétrico para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no Nordeste de Goiás.

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Análise descritiva dos dados

Na Tabela 1 verifica-se a distribuição das árvores-amostra cubadas com 10 árvores por classe de diâmetro, totalizando 50 indivíduos. Já, na Tabela 2, as estatísticas descritivas destas 50 árvores-amostra, com base no intervalo interquartil, permitem constar que 50% das árvores tem diâmetro entre 11,4 a 23,5 cm, altura entre 11,3 a 17,1 m e volume entre 0,0533 e 0,3492m<sup>3</sup>, pois representam a amostra entre os percentis 25 e 75.

Também se observa uma variação com amplitude de 29,5 cm para diâmetro, 15,5 m para altura e de 0,9421 m<sup>3</sup> para volume.

Tabela 1 - Distribuição de frequência de 50 árvores-amostra de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cubadas na região Nordeste de Goiás, Brasil

Classe de diâmetro (cm)	Classe de altura (m)							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
D > 25				2	1	5	2	10
Total	8	7	9	10	5	9	2	50

D=DAP e H=altura total.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas de 50 árvores-amostra de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cubadas na região Nordeste de Goiás, Brasil

Estatística	Diâmetro(D)	Altura(H)	Volume(v)
Mínimo	5,44	6,51	0,0073
Média	17,47	14,19	0,2304
Máximo	34,95	22,05	0,9494
Cv	43,70	27,35	97,22
P25	11,40	11,36	0,0533
P75	23,55	17,13	0,3492

Cv=Coefficiente de variação, P25=Percentil 25, P75=Percentil 75.

### 3.2 Análises estatísticas

Analisando os resultados apresentados na Tabela 3, pode-se verificar que todos os modelos volumétricos apresentaram excelente ajuste aos dados de *Pinus caribaea* Var. *hondurensis*, com valores altíssimos de R<sup>2</sup>aj sendo maiores que 0,990. Por isso, por meio desta estatística, não é possível inferir quanto ao melhor modelo volumétrico. Resultados para Pinus, pouco inferiores a estes de R<sup>2</sup>aj, que oscilaram entre 0,939 e 0,993, foram obtidos por Thomas *et al.* (2006), Pelissari *et al.* (2011) e Silvestre *et al.* (2014). Também, Machado *et al.* (2005), Moraes Neto *et al.* (2009) e Melo *et al.* (2013), obtiveram valores de R<sup>2</sup>aj entre 0,67 e 0,97. Isso demonstra que os ótimos resultados de R<sup>2</sup>aj deste trabalho, com quase nenhuma variação, é bastante atípico quando se trabalha com a relação volumétrica de plantios com o gênero *Pinus*.

Quanto ao critério estatístico sv $\hat{v}$  (Tabela 3), constata-se que os resultados variaram de  $\pm 6,1$  a  $\pm 8,0\%$ , com a quase totalidade dos modelos tendo um ótimo nível de precisão

na estimativa de suas equações volumétricas. Nota-se que apenas o modelo 16 é que apresentou  $sv\hat{v}$  superior à  $\pm 8,0\%$ , podendo ser considerado o de pior resultado. Portanto, por meio da estatística  $sv\hat{v}$  (Tabela 3), também, não é possível inferir quanto ao melhor modelo volumétrico.

Tabela 3 - Resultados obtidos para vinte modelos volumétricos ajustados com dados de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* coletados na região de Posse-GO

M	$\hat{\beta}0$	$\hat{\beta}1$	$\hat{\beta}2$	$\hat{\beta}3$	$\hat{\beta}4$	R <sup>2</sup> aj	sv $\hat{v}$
1	-9,98978	2,04702	0,86672	-	-	0,995	6,70
2	-0,00045	0,00004	-	-	-	0,995	6,48
3	-10,11940	0,98920	-	-	-	0,996	6,15
4	-0,00309	0,00260	-0,00009	-0,00018	0,00004	0,994	7,12
5	28921,86	-57,11000	-	-	-	0,995	6,81
6	0,15981	0,00044	-0,02642	0,00004	-0,00029	0,994	7,14
7	3,06860	-11,30970	0,34190	-	-	0,995	6,87
8	3,09610	-10,11200	-0,62020	-	-	0,994	7,09
9	0,00002	2,15810	0,34807	-	-	0,995	6,71
10	-0,00076	0,00516	211,70000	0,51200	-	0,995	6,49
11	0,00026	-0,00310	0,50420	0,23220	-	0,995	6,47
12	0,00014	-0,00148	0,50470	0,54280	-	0,995	6,48
13	6,67060	1,53960	1,82850	0,09450	-	0,995	6,36
14	0,00160	2,01480	0,06710	0,27830	-	0,995	6,51
15	0,00813	2,01450	-0,22900	0,00920	-0,01390	0,995	6,64
16	2,01640	1,00000	0,00003	-	-	0,993	8,06
17	2,01450	-0,00004	10,02230	0,34490	-	0,995	6,70
18	-10,58220	0,87558	2,19837	-	-	0,994	7,42
19	0,01166	-0,00002	0,00004	-0,00102	-	0,995	6,82
20	-10,01593	3,12239	-0,74496	-	-	0,995	6,42

M = modelo avaliado, R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado e sv $\hat{v}$  = erro padrão da estimativa.

Resultados para *Pinus*, com sv $\hat{v}$  variando entre  $\pm 3,4$  a  $\pm 6,3\%$  e entre  $\pm 6,7$  a  $\pm 12,7\%$ , respectivamente, foram obtidos por Machado *et al.* (2005) e Moraes Neto *et al.* (2009). Já, Pelissari *et al.* (2011), Melo *et al.* (2013) e Silvestre *et al.* (2014), respectivamente, obtiveram valores de sv $\hat{v}$  variando entre  $\pm 8,1$  a  $\pm 15,9\%$ ,  $\pm 13,1$  a  $\pm 17,3\%$  e entre  $\pm 9,9$  a  $\pm 11,3$ . Portanto, é pouco incomum obter ótimos resultados desv $\hat{v}$  para o gênero *Pinus*, porém, é atípico obter valores com pouca oscilação como neste trabalho.

Diante disso, pôde-se inferir que, de maneira isolada, tanto R<sup>2</sup>aj bem como sv $\hat{v}$ , se portaram de maneira à não fornecer uma base conclusiva para se decidir pelos modelos volumétricos mais adequados ao *P. caribaea hondurensis*. É preciso um terceiro critério que, aliado a estes, poderá permitir inferir quanto aos modelos em destaque para quantificar o volume do fuste de *P. caribaea hondurensis*. Tal critério, irrefutável, é a

análise da distribuição de resíduos apresentada na Figura 2. Nota-se que os modelos 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 16 e 19, apresentaram uma distribuição de resíduos bastante indesejáveis, pois tendem à subestimar (2, 5, 6, 8 e 19) e superestimar (1, 4, 9 e 19) o volume de árvores com diâmetro menor que 12 cm(Figura 2).

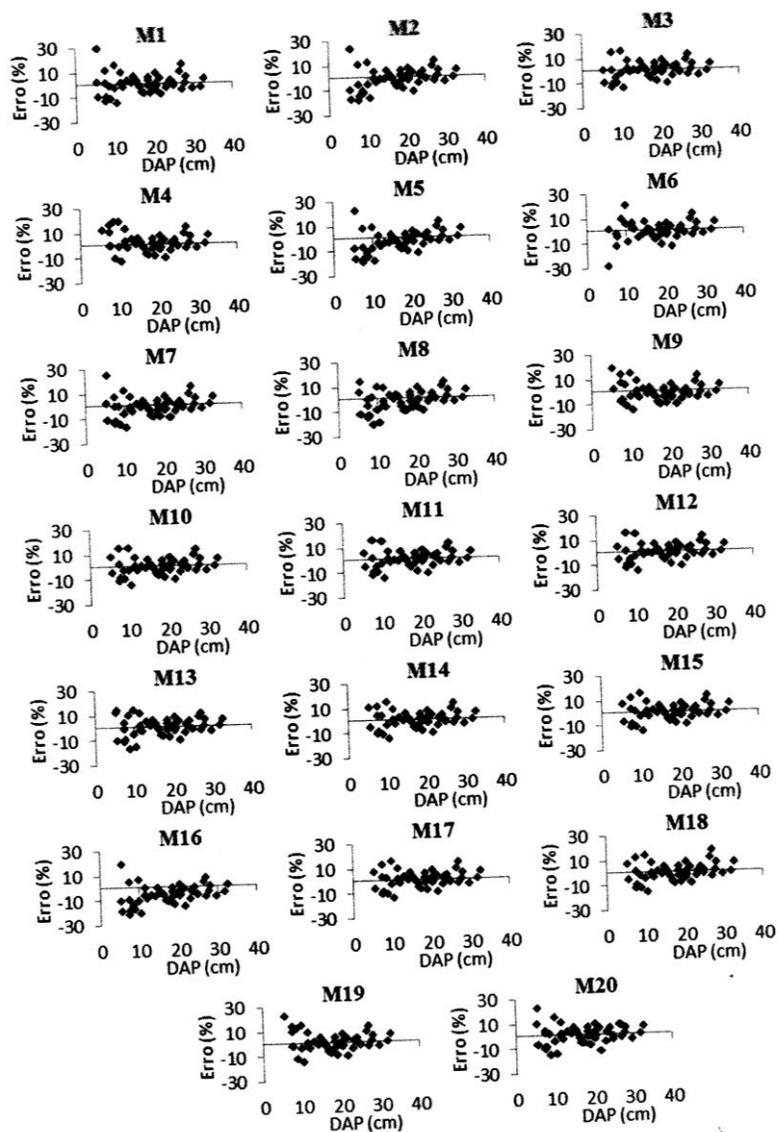


Figura 2 - Distribuição de resíduos de vinte modelos volumétricos avaliados para um plantio de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* localizado em Posse, Goiás.

Enquanto que o modelo 20 apresentou uma tendência de, ao mesmo tempo, subestimar e superestimar sobremaneira o volume do fuste de árvores com diâmetro menor do que 15 cm. Os demais modelos se portaram de forma semelhante, apresentando uma distribuição mais homogênea e equilibrada ao longo do eixo 0%, quais sejam: 3, 7, 10, 15, 17 e 18.

Os critérios estatísticos  $R^2_{aj}$  e  $sv\hat{v}$ , serviram apenas como estatísticas informativas do ajustamento do volume do fuste de *P. caribae hondurensis*. Como se pode ver, na comparação entre os modelos 18, 19 e 20 com  $sv\hat{v}$  de 7,4%, 6,8% e 6,4%, respectivamente, por este critério seriam escolhidos os modelos 19 e 20 frente ao modelo 18. Mas, ao analisar a Figura 2, nota-se que o modelo 18 é superior a estes modelos por apresentar uma distribuição de resíduos bem mais equilibrada, sem tendências indesejáveis de estimação. Esta mesma análise, também, pode ser feita com os modelos 1, 2 e 9 frente aos modelos 7 e 17 levando a uma decisão equivocada sobre o melhor modelo volumétrico dentre estes. Portanto, dentre vinte modelos volumétricos, a análise da distribuição de resíduos foi decisiva quanto aos melhores modelos para quantificar o volume do fuste de *P. caribae hondurensis*.

Em continuidade à análise, os modelos 3, 7, 10 ao 15, 17 e 18, previamente selecionados de acordo com a Figura 2, foram avaliados por meio das estatísticas  $rv\hat{v}$  e  $SQRR$ , cujos resultados foram englobados em uma única nota após a classificação de cada modelo por classe diamétrica (Tabela 4). Pela menor nota, pode-se verificar na classe 1 que o modelo 15 (NC1=4) foi o melhor, seguido dos modelos 13 e 17 (NC1=5), mas, na classe 2, os modelos 11 e 12 (NC2=2) foram os melhores seguidos dos modelos 10 e 18 (NC2=3). Na classe 3, o modelo 3 (NC3=2) foi o melhor seguido do modelo 17 (NC3=3), porém, na classe 4, os modelos 7 e 18 (NC4=2) foram os melhores seguidos dos modelos 15 e 17 (NC4=3). Por fim, na classe 5, o melhor modelo foi o 13 (NC5=2) seguido dos 3 e 12 (NC5=4).

Ao se considerar a nota geral, pode-se notar que os modelos 3 e 15 (NG=28) resultaram na menor nota e se classificaram em primeiro lugar seguidos dos modelos 14 e 17 (NG=29). Também, quando se analisa a nota obtida em nível de classe diamétrica, pode-se ver que estes modelos foram os únicos que se classificaram entre os cinco melhores modelos.

Tal resultado demonstra o potencial de serem os modelos mais estáveis para *P. caribae hondurensis*, quais sejam os modelos 3, 14, 15 e 17. Dentre estes, pela análise da distribuição de resíduos (Figura 2), ambos os modelos tem dispersão muito parecida, pouco desfavorável para o modelo 3 em árvores com diâmetro inferior à 15 cm, aproximadamente. Para tais árvores, o modelo que tem melhor dispersão dos resíduos, embora sendo pouco expressiva, é o modelo 14. Isto, aliado ao fato deste modelo ser de característica não linear e desenvolvido com base no modelo biomatemático logístico (Andrade, 2014), credenciou tal modelo como o mais adequado para uso no plantio da espécie e região amostrada neste trabalho.

Tabela 4 - Resultados obtidos de SQRR e  $rv\hat{v}$  para dez modelos volumétricos, previamente, selecionados para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em Posse, Goiás

CD		Modelo									
		3	7	10	11	12	13	14	15	17	18
1	SQRR	0,178	0,138	0,197	0,204	0,205	0,110	0,162	0,157	0,160	0,185
	$rv\hat{v}$	0,979	0,977	0,981	0,979	0,979	0,977	0,983	0,983	0,983	0,981
2	SQRR	0,055	0,054	0,053	0,052	0,052	0,066	0,056	0,057	0,060	0,053
	$rv\hat{v}$	0,986	0,987	0,987	0,987	0,987	0,984	0,987	0,986	0,986	0,987
3	SQRR	0,019	0,027	0,022	0,020	0,020	0,021	0,021	0,021	0,019	0,025
	$rv\hat{v}$	0,957	0,938	0,950	0,953	0,953	0,953	0,951	0,953	0,956	0,943
4	SQRR	0,024	0,020	0,023	0,025	0,025	0,027	0,022	0,022	0,022	0,020
	$rv\hat{v}$	0,982	0,984	0,983	0,982	0,982	0,980	0,983	0,984	0,984	0,984
5	SQRR	0,031	0,039	0,033	0,031	0,031	0,026	0,033	0,034	0,036	0,051
	$rv\hat{v}$	0,989	0,986	0,988	0,988	0,989	0,990	0,988	0,988	0,987	0,982
Classificação de Notas											
1	SQRR	6	2	8	9	10	1	5	3	4	7
	$rv\hat{v}$	3	4	2	3	3	4	1	1	1	2
	NC1	9	6	10	12	13	5	6	4	5	9
2	SQRR	4	3	2	1	1	8	5	6	7	2
	$rv\hat{v}$	2	1	1	1	1	3	1	2	2	1
	NC2	6	4	3	2	2	11	6	8	9	3
3	SQRR	1	6	4	2	2	3	3	3	1	5
	$rv\hat{v}$	1	7	5	3	3	3	4	3	2	6
	NC3	2	13	9	5	5	6	7	6	3	11
4	SQRR	4	1	3	5	5	6	2	2	2	1
	$rv\hat{v}$	3	1	2	3	3	4	2	1	1	1
	NC4	7	2	5	8	8	10	4	3	3	2
5	SQRR	2	6	3	2	2	1	3	4	5	7
	$rv\hat{v}$	2	5	3	3	2	1	3	3	4	6
	NC5	4	11	6	5	4	2	6	7	9	13
	NG	<b>28</b>	36	33	32	32	34	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	38

CD = classe de diâmetro, SQRR = soma de quadrados dos resíduos relativos,  $rv\hat{v}$  = correlação linear múltipla entre  $v$  e  $\hat{v}$ , NC1, ... ,NC5 = notas obtidas nas classes de diâmetro 1 a 5, NG=nota geral=NC1+NC2+NC3+NC4+NC5.

## Conclusões

Com base nos resultados obtidos pôde-se concluir que os modelos 3, 14, 15 e 17 apresentaram melhor estabilidade para *P. caribaea hondurensis*. Dentre estes, o modelo 14, de característica não linear e desenvolvido com base no modelo biomatemático logístico, se destacou como o mais adequado para uso em plantios da espécie e região amostradas neste trabalho. Também, pôde-se concluir que:

- A análise da distribuição de resíduos é de fundamental importância na avaliação de modelos volumétricos;
- Nunca considerar, isoladamente, apenas  $R^2_{aj}$  e  $sv\hat{v}$  na avaliação de modelos volumétricos;
- Neste trabalho, as estatísticas  $R^2_{aj}$  e  $sv\hat{v}$  resultaram em valores atípicos ao que se obtêm na maioria dos estudos sobre volumetria de Pinus, mas, de forma favorável à análise quanto ao ajuste e precisão das equações estimadas;
- O modelo de Schumacher-Hall não se destacou dos demais não sendo, então, adequado para uso no plantio de *P. caribaea hondurensis*;
- Dentre os modelos tradicionais de uso no Brasil, se destacou o modelo logaritmo de Spurr (modelo 3).

ANDRADE, V. C. L.; SCHMITT, T. Double entry volumetric models evaluated for *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in the county of Posse, Goiás, Brazil. *Rev. Bras. Biom.*, Lavras, v.34, n.4, p.656-668, 2016.

- **ABSTRACT:** *This work aimed to evaluate 20 volumetric models for Pinus caribaea var. hondurensis situated in the county of Posse, state of Goiás, Brazil. The information base was composed of 50 sample trees cubed for the use of the Huber's formula to calculate the real stem volume. Preliminarily, volumetric models were evaluated by the adjusted coefficient of determination, standard error of estimate and graphic analysis of residual waste. Then, the selected models were evaluated per diametric class through statistical criteria: linear correlations and sum of squares of relative residues. It was concluded that the best volumetric models were 3, 14, 15 and 17, among them, the model 14 was developed from the logistic biomathematical model, this was considered the most suitable for use in planting of the species and sampled region.*
- **KEYWORDS:** *Volumetric; pinus; forest biometrics, stem measurements by Huber.*

## Referências

ANDRADE, V. C. L. Seção I - Avanços Em Dendrometria: Modelagem Do Volume Do Fuste De Eucalipto. In: Ana Paula Dalla Corte; Carlos Roberto Sanquetta; Aurélio Lourenço Rodrigues; Sebastião do Amaral Machado; Sylvio Péllico Netto; Afonso Figueiredo Filho; Gilciano Saraiva Nogueira. (Org.). *Atualidades Em Mensuração Florestal*. 1ed. Curitiba: , 2014, v. , p. 116-120.

LEAL, F. A.; CABACINHA, C. D.; CASTRO, R. V. O.; MATRICARDI, E. A. T. Amostragem de arvores de Eucalyptus na cubagem rigorosa para estimativa de modelos volumétricos. *Revista Brasileira de Biometria*, v.33, p.91-103, 2015.

- LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. *Revista Árvore*, v.27, n.3, p.301-310, 2003.
- LIMA, R. B.; APARÍCIO, P. S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, W. C.; GUEDES, M. C.; OLIVEIRA, C. P.; SILVA, D. A. S.; BATISTA, A. P. B. Volumetria e classificação da capacidade produtiva para *Mora paraensis* (Ducke) no estuário amapaense. *Scientia Forestalis*, v.42, n.101, p.141-154, 2014.
- 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*. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v.4, n.2, p.185-197, 2002.
- MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e regimes de desbastes. *Boletim de Pesquisa Floresta*, v.50, p.81-98, 2005.
- 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.
- MIGUEL, E. P.; CANZI, L. F.; RUFINO, R. F.; SANTOS, G. A. Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Rio Verde-GO. *Enciclopédia Biosfera*, v.6, n.11, p.1-13, 2010.
- MIRANDA, D. L. C.; JUNIOR, V. B.; GOUVEIA, D. M. Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis*. *Scientia Plena*, v.11, n.11, p.1-8, 2015.
- MORAES NETO, S. P. de Estimativas de volume de *Pinus tecunumanii* no Cerrado do Distrito Federal. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 16 p. (Embrapa Cerrados. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 230).
- 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.
- R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 10 dez. 2015.
- ROCHA, T. B.; CABACINHA, C. D.; ALMEIDA, R. C.; PAULA, A.; SANTOS, R. C. Avaliação de métodos de estimativa de volume para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* s. T. Blake no Planalto da Conquista- BA. *Enciclopédia Biosfera*, v.6, p.1-13, 2010.
- 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 *Pinus taeda* L. no Município de Lages-SC. *Nativa*, v.2, p.1-5, 2014.
- SHIMIZU, J. Y. *Pinus* na silvicultura brasileira. *Revista da Madeira*, v.16, n.99, p.4-14, 2006.

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: ACET*, v.2, n.2, p.193-204, 2011.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, v.16, n.3, p. 319-327, 2006.

Recebido em 02.02.2016

Aprovado após revisão em 03.06.2016