



DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA CUBAR ÁRVORES EM PLANTIO SEMINAL DE EUCALIPTO

David Lucas Camargo Vieira Terra¹; Valdir Carlos Lima de Andrade²; Ana Carolina de Albuquerque Santos³; Helio Garcia Leite⁴

¹Engenheiro florestal, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi/TO.(davidlcv7@hotmail.com)

²Engenheiro florestal, Doutor em Engenharia Florestal, Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi/TO

³Engenheira florestal, Doutoranda em Ciência Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG

⁴Engenheiro florestal, Doutor em Ciência Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG

Recebido em: 15/04/2018 – Aprovado em: 07/05/2018 – Publicado em: 09/06/2018
DOI 10.18677/TreeDimensional2018A06

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar modelos volumétricos ajustados com várias alternativas de classes diamétricas e números de árvores cubadas. Foram geradas nove bases de dados a partir da cubagem de 24 árvores com aplicação da fórmula de Huber para obter o volume real. Como parâmetros estatísticos de avaliação, além da análise da distribuição dos resíduos, utilizou-se: erro padrão residual, delineamento inteiramente casualizado no esquema de parcelas subdivididas seguido da aplicação do teste Dunnett, coeficiente de determinação ajustado, desvio padrão das diferenças, desvio médio e soma dos quadrados dos resíduos relativos. Concluiu-se que houve bom ajuste de modelos volumétricos aos dados de 20 árvores, reduzindo o seu número em 16,7% que, possivelmente, irá reduzir o tempo na coleta de dados da cubagem rigorosa. Também, que a variável binária Tx resultou em bom ajuste para obter, de forma simultânea, o volume com e sem casca.

PALAVRAS-CHAVE: Biometria florestal. *Corymbia citriodora*. Variável binária.

DIAMETRIC DISTRIBUTION TO CUBE TREES IN EUCALYPTUS SEMINAL PLANT

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze adjusted volumetric models with several alternatives of diametric classes and numbers of cubed trees. Nine databases were generated from the cubing of 24 trees with application of the Huber formula to obtain the real volume. As statistical evaluation parameters, in addition to the residue

distribution analysis, the following parameters were used: residual standard error, completely randomized design in the subdivided plots scheme followed by the Dunnett test, adjusted coefficient of determination, standard deviation of the differences, mean deviation and sum of squares of relative residues. It was concluded that there was a good adjustment of volumetric models to the data of 20 trees, reducing their number by 16.7%, which possibly will reduce the time in the data collection of the rigorous cubage. Also, that the binary variable Tx resulted in a good fit to obtain, simultaneously, the volume with and without shell.

KEYWORDS: Binary variable, *Corymbia citriodora*, Forest biometric.

INTRODUÇÃO

Manejar de forma sustentável plantios florestais, em sua maioria, exige atender decisões delineadas a partir do conhecimento do estoque de madeira. Para isso, é imprescindível o emprego de equações volumétricas que, dentre as quais, se destacam em plantios florestais brasileiros aquelas geradas a partir dos modelos de Schumacher e Hall, Spurr, Meyer, Stoate, Takata e Naslund. Conforme se verifica nos trabalhos de Leite e Andrade (2003), Rolim et al. (2006), Pelissari et al. (2011), Sales et al. (2015), dentre outros.

Diante disso, como equações volumétricas são geradas pelo relacionamento do volume real com o diâmetro e altura de árvores, então, são necessários dados obtidos na cubagem de algumas árvores-amostra, geralmente abatidas, que contemplem a variação diamétrica do povoamento florestal amostrado. Nesse sentido, para plantios florestais, nota-se nos trabalhos de Higushi et al. (1979), Couto e Bastos (1987), Leite e Andrade (2003), Souza et al. (2008), Pelissari et al. (2011), Melo et al. (2013) e Sales et al. (2015), que foram utilizadas uma quantidade variada de árvores com classes de diâmetro na amplitude de 1 a 5 cm.

Nesse contexto, nota-se que não há um consenso quanto ao número de árvores cubadas e a amplitude de classe diamétrica a ser adotada, necessárias para a coleta de dados à empregar no ajuste de modelos volumétricos. Como exemplo, pode-se citar: Higushi et al. (1979), que utilizaram 41 árvores de *Eucalyptus grandis* no Mato Grosso com classes de diâmetro de 4 cm de amplitude; Paula Neto et al. (1983), que utilizaram entre 48 e 63 árvores; Torquato (1978) que empregou 1000 árvores de três espécies de eucalipto em Minas Gerais e Schneider et al. (1996), que utilizaram 24 árvores de *Eucalyptus grandis* no Rio Grande do Sul com classes de diâmetro com 5 cm de amplitude.

Portanto, é oportuno direcionar estudos com a finalidade de verificar um pretense número de árvores-amostra, bem como, a amplitude de classes diamétricas ideais à coleta de dados para estimar equações volumétricas. Por isso, esse trabalho teve como objetivo analisar diferentes quantidades de árvores-amostras cubadas com diferentes amplitudes de classe diamétrica incluindo-se, também, o ajuste com a variável binária TX para quantificar o volume com e sem casca de árvores na mesma equação volumétrica.

MATERIAL E MÉTODOS

No estudo foram utilizados dados de 24 árvores cubadas em um plantio de eucalipto citriodora (EC) localizado no estado do Tocantins. Esta região, com clima predominante ao tipo C2w2A'a` da classificação de Thornthwaite-Mather, com características básicas como temperaturas médias mensais de 26°C e precipitação

pluviométrica média anual entorno de 1.500mm ocorrendo entre os meses de Outubro a Maio (SEPLAN, 2012).

O plantio de EC, cujas mudas foram produzidas a partir de sementes, foi implantado no espaçamento inicial de 3,0 x 2,0 m e tinha 67 meses de idade quando foi feita a cubagem rigorosa. Foi aplicada a fórmula de Huber a partir de 0,1 m, com os diâmetros com e sem casca medidos nas posições: 0,20 m, 0,40 m, 0,70 m, 1,30 m, 2,70 m e, sucessivamente, de 2 m em 2 m até um diâmetro de 3 cm com casca. Em seguida, após obter o volume real do fuste por Huber, procedeu-se ao ajuste dos modelos volumétricos 1 e 2 selecionados preliminarmente a esse estudo, quais sejam os seguintes:

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

$$\sqrt{v} = \frac{[\beta_1(D^2 H) - \beta_2]^{\beta_3}}{\exp[1 - \beta_4(1/D)]} + \sqrt{\varepsilon} \quad (2)$$

Em que: exp = inverso de Ln, v = volume real do fuste obtido por Huber (m³), D = diâmetro à 1,3 m do solo (cm), H = altura total (m), Ln = logaritmo neperiano, β_0 , β_1 , β_3 , e β_4 = coeficientes de regressão à serem estimados e ε = erro do modelo.

Os dados originais, com 24 árvores cubadas, foram utilizados para gerar outras bases de dados a partir de variações na amplitude de classe diamétrica e número de árvores utilizando-se o bom senso e experiência, além das distribuições de frequência 3, 4 e 5 obtidas de acordo com Ribeiro Júnior (2004), Correa (2003) e Portella et al. (2015), quais sejam as seguintes:

$$k = \sqrt{n}; \text{ sendo } k=5 \text{ se } n < 25 \quad (3)$$

$$k = 1 + 3,22 \text{Log}(n); \text{ (Regra de Sturges)} \quad (4)$$

$$k = 5 \text{ a } 7; \text{ sendo } n < 50 \quad (5)$$

Em que: k = número de classes diamétricas, Log = logaritmo decimal e n = número total de árvores cubadas por Huber.

Ressalta-se, que no uso do bom senso, as amplitudes de classes diamétricas avaliadas foram: 2,5 cm, 3 cm, 3,5 cm, 4 cm e 5 cm. Para cada uma dessas classes e as obtidas a partir de 3, 4 e 5, obteve-se diferentes bases de dados com duas e quatro árvores-amostra selecionadas casualmente utilizando uma lista telefônica para sortear as árvores em cada classe diamétrica.

Para avaliar os modelos volumétricos, além da análise gráfica da distribuição dos erros, foram adotados outros parâmetros estatísticos representados por 6, 7 e 8, quais sejam os seguintes:

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \left(\frac{SQ R}{SQ T} \right) \quad (6)$$

$$Sv\hat{v} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2}{n-p}} \quad (7)$$

$$Sv\hat{v}(\%) = \left(\frac{Sv\hat{v}}{\bar{v}} \right) 100 \quad (8)$$

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado, $Sv\hat{v}$ = erro padrão residual (m^3 e %), \hat{v} = volume estimado pelos modelos 1 e 2 (m^3), \bar{v} = volume real médio (m^3), n = número de árvores cubadas, p = número total de coeficientes de regressão estimados, SQR = soma dos quadrados do resíduo, SQT = soma de quadrados total.

Para cada base de dados gerada aplicou-se, também, um delineamento inteiramente casualizado no esquema de parcelas subdivididas (DIC_{sub}). As parcelas foram constituídas das classes diamétricas e as subparcelas pelas estimativas obtidas com o emprego das equações volumétricas geradas e acrescidas do volume real obtido com o método de Huber. As repetições são representadas pelo número de árvores contido por classe diamétrica de acordo com cada base de dados avaliados. Nesse caso, é importante destacar as subparcelas, quando foram consideradas as equações volumétricas geradas a partir dos modelos 1 e 2 aplicando os dados originais de cubagem rigorosa e dados da respectiva base de dados avaliados. Portanto, ao incluir o volume real, foram utilizados 5 tratamentos em cada DIC_{sub} .

Por outro lado, em havendo significância no DIC_{sub} para modelos e, ou, interação entre modelos e classes diamétricas, foi adotado o teste Dunnett tendo como comparador, ou testemunha, o volume obtido por Huber (BANZATTO; KRONKA,

2006). Para isso, aplicando-se: $\overline{Dt} = (t_d) \sqrt{2 \left(\frac{QMR}{r} \right)}$ (9) e tendo como premissa An-

drade (2014), o erro assumiu o valor: $ED = \bar{v}_{cd} - \hat{v}_{cd}$, caso seja significativo ($ED \geq \overline{Dt}$), isto é, ED^* . Caso não havendo significância ($ED < \overline{Dt}$), sendo ED^{ns} , o erro assumiu valor zero, ou seja: $ED=0,00$, pois, estatisticamente, a média do volume estimado pelo modelo volumétrico utilizado é igual ao volume real obtido por Huber.

Em que: \overline{Dt} = estatística do teste Dunnett, t_d = valor obtido na tabela para uso no teste Dunnett, r =número de repetições, ED = erro Dunnett obtido para comparação com \overline{Dt} , \bar{v}_{cd} e \hat{v}_{cd} = volume médio real e estimado por classe de diâmetro (m^3), respectivamente e demais já forma definidos anteriormente.

O modelo volumétrico selecionado dentre 1 e 2, com a melhor base de dados, foi utilizado no ajuste com e sem casca incluindo-se a variável binária TX (CAMPOS; LEITE, 2013). Para isto, foram analisadas três maneiras de se incluir esta variável, quais sejam: $\beta(TX)$; $\beta\left(\frac{TX}{D}\right)$ e $\beta_{TX}\left(\frac{H}{D}\right)$. Assim, fazendo-se $TX=0$ para volume com casca e $TX=1$ para volume sem casca, pôde-se quantificar o volume com e sem casca, simultaneamente, com a mesma equação volumétrica ao mudar apenas o valor de TX.

O uso da variável TX foi avaliado por meio dos parâmetros: desvio médio (\bar{D}), desvio padrão das diferenças (DPD) e soma dos quadrados dos resíduos relativos ($SQRR$), equações 10, 11 e 12. Esses parâmetros estatísticos, conforme utilizados por

Figueiredo et al. (2006), Silva et al. (2011), Lanssanova et al. (2013) e Téo et al. (2013), são obtidos pelas seguintes equações 10, 11 e 12, apresentadas à seguir:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)}{n} \quad (10)$$

$$DPD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2}{n-1}} \quad (11)$$

$$SQRR = \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i - \hat{v}_i}{v_i} \right)^2 \quad (12)$$

Em que: as variáveis já foram definidas anteriormente.

No uso dos parâmetros estatísticos \bar{D} , DPD e SQRR, procedeu-se à classificação de notas utilizando-se o valor 1 ao melhor resultado e, sucessivamente, até o pior resultado. Neste caso, conforme Mendonça et al. (2007), Pelissari et al. (2011) o modelo com melhor performance com a variável TX, foi definido pela menor soma de notas aliado à distribuição de resíduos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram obtidas nove bases de dados com amplitudes de classes diamétricas variando de 2,0 a 5,0 cm e número total de árvores cubadas de 12 a 20 (Tabela 1). Também, a quantidade de classes diamétricas por amplitude de classe variaram de 3 a 7. Já, considerando árvores individuais, os diâmetros mínimos variaram de 3,6 a 5,4 cm e máximos de 17,6 a 17,8 cm.

Em cada base de dados da Tabela 1, ajustou-se os modelos volumétricos 1 e 2. Em seguida, procedeu-se a análise de R^2_{aj} e $Sv\hat{v}$ (Tabela 2) incluindo-se a análise da distribuição de resíduos e da dispersão do volume em relação do diâmetro e da altura. Pôde-se ver que as bases de dados 3, 5 e 9 (12 árvores), 4 (14 árvores) e 8 (16 árvores), apresentaram bons resultados de ajuste.

TABELA 1 Bases de dados obtidos com diferentes amplitudes de classes diamétricas e número de árvores cubadas.

BD	Equação	ACD	NCD	NT	QCD	DMIN	DMAX
1	3	2,8	4	20	5	4,6	17,8
2	5	2,4	3	18	6	3,6	17,8
3	5	2,4	2	12	6	5,4	17,8
4	5	2,0	2	14	7	3,6	17,6
5	BS	2,5	2	12	6	3,6	17,6
6	BS	3,0	4	20	5	3,6	17,8
7	BS	3,5	4	19	5	3,6	17,6
8	BS	4,0	4	16	4	4,3	17,8
9	BS	5,0	4	12	3	5,4	17,8

Em que: BS = bom senso, BD = base de dados, ACD = amplitude da classe de diâmetro (DAP), NCD = n° de árvores por classe, QCD = quantidade de classes, NT = n° total de árvores, DMIN = diâmetro mínimo e DMAX=diâmetro máximo.

Por outro lado, como mostra a Figura 1, visualmente, se pode ver que o número de árvores nas bases de dados 3, 4, 5, 8 e 9 é insuficiente para captar a variação do volume de forma semelhante a base de dados original com 24 árvores. Além disso, tal dispersão se portou de forma à favorecer os bons resultados de R^2_{aj}

e $Sv\hat{v}$, o que pode levar a seleção de uma base de dados inadequado ao ajuste de modelos volumétricos. Portanto, devido a tais resultados, decidiu-se por excluir as bases de dados 3, 4, 5, 8 e 9.

TABELA 2 Estatísticas obtidas para dois modelos volumétricos ajustados com diferentes bases de dados de árvores cubadas.

Modelo	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$\widehat{\beta}_3$	$\widehat{\beta}_4$	$Sv\hat{v}\%$	R^2_{aj}
Base de dados original (n=24 árvores-amostra)							
1	-10,6943	2,14	1,032			13,01	0,977
2		1,14E-03	-0,2081	0,2995	-6,1478	8,13	0,991
Base de Dados 1							
1	-10,9819	1,9269	1,3133			10,07	0,991
2		0,0005	0,0007	0,3635	-3,6572	8,87	0,993
Base de Dados 2							
1	-10,7891	2,1056	1,0888			12,60	0,986
2		0,0007	-0,0615	0,3380	-4,8801	9,25	0,992
Base de Dados 3							
1	-10,3626	2,0529	0,9871			9,18	0,988
2		0,0011	-0,1941	0,2968	-6,0881	6,40	0,994
Base de Dados 4							
1	-9,6706	2,5096	0,35782			11,87	0,985
2		0,00054	-0,07485	0,38949	-4,04177	8,81	0,991
Base de Dados 5							
1	-11,0339	1,8377	1,4008			6,82	0,994
2		0,00045	-0,0359	0,4050	-3,1702	5,72	0,996
Base de Dados 6							
1	-10,4709	2,1213	0,9774			12,59	0,979
2		0,0008	-0,0888	0,3327	-5,0242	9,16	0,989
Base de Dados 7							
1	-10,2833	2,0744	0,95006			11,73	0,979
2		0,0008	-0,1058	0,3269	-5,0794	8,75	0,988
Base de Dados 8							
1	-12,1403	1,6872	1,9175			10,39	0,985
2		0,00031	0,0299	0,4381	-0,7771	9,18	0,988
Base de Dados 9							
1	-10,1565	2,1331	0,8529			13,31	0,978
2		0,0025	-0,6652	0,2405	-7,610	7,69	0,993

Diante disso, visualmente, por apresentar dispersão semelhante à original (Figura 2), considerou-se as bases de dados 1 e 6 (20 árvores), 2 (18 árvores) e 7 (19 árvores), potenciais à amostragem de dados para o ajuste de modelos volumétricos. Dentre essas bases de dados, por apresentar melhores resultados de $Sv\hat{v}$ (Tabela 2), selecionou-se 1 e 7. No caso da estatística R^2_{aj} , por apresentar excelente resultado para todos os ajustes ($R^2_{aj} \geq 0,980$), não a considerou importante como alegação conclusiva na seleção da base de dados, servindo apenas para mostrar o alto grau de ajuste dos modelos volumétricos 1 e 2 aos dados de cubagem rigorosa de EC. Portanto, conforme a Tabela 2, as equações volumétricas 13 a 18, obtidas com as bases de dados original 1 e 7, são as seguintes:

. Base de dados original (24 árvores)

$$\ln(\hat{v}) = -10,6943 + 2,14\ln(D) + 1,032\ln(H) \quad (13)$$

$$\sqrt{\hat{V}} = \frac{[0,00114(D^2H)+0,2081]^{0,2995}}{\exp[1+6,1478(1/D)]} \quad (14)$$

. Base de dados 1 (20 árvores)

$$\ln(\hat{V}) = -10,9819 + 1,9269\ln(D) + 1,3133\ln(H) \quad (15)$$

$$\sqrt{\hat{V}} = \frac{[0,0005(D^2H)-0,0007]^{0,8685}}{\exp[1+3,6572(1/D)]} \quad (16)$$

. Base de dados 7 (19 árvores)

$$\ln(\hat{V}) = -10,2833 + 2,0744\ln(D) + 0,95006\ln(H) \quad (17)$$

$$\sqrt{\hat{V}} = \frac{[0,0025(D^2H)+0,6652]^{0,2405}}{\exp[1+7,61(1/D)]} \quad (18)$$

Após selecionar as bases de dados 1 e 7, foi realizado um delineamento inteiramente casualizado no esquema de parcelas subdivididas resultando em interação significativa para classe diamétrica e modelos (Tabela 3). Isto significa que classes diamétricas e modelos agem de forma dependentes sobre o volume do fuste de EC. Tal resultado, exige o desdobramento desta interação para posterior análise de modelos dentro de cada classe diamétrica. Nesse caso, por haver significância, utilizou-se o teste Dunnett com nível de 0,05 (Tabela 4).

Na comparação entre a base de dados 1 com o original, as equações 14 e 16 (modelo 2) mostraram haver diferença apenas na quarta classe de diâmetro (ED^*), o que resultou em quatro classes de diâmetro não significativas (NCD^{ns}), isto é, em média, pelo teste Dunnett essas classes diamétricas tem volume do fuste estimado pelo modelo 2, estatisticamente, igual ao volume real obtido por Huber (ED^{ns}). Nesse caso, o erro é 0,0% que, incluído ao valor de $0,006m^3$ e $0,005m^3$, resultou em EMD de $0,001m^3$.

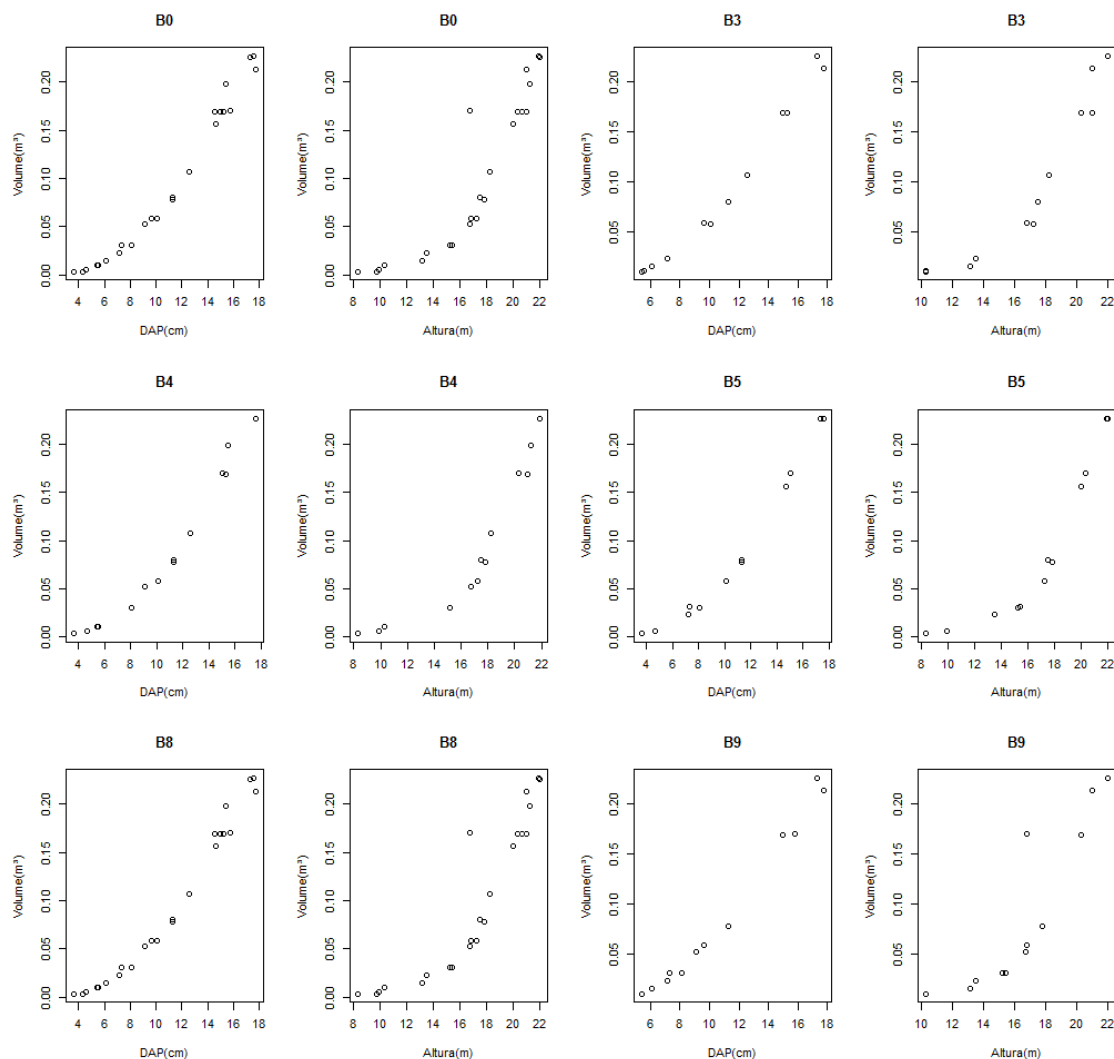


FIGURA 1 Dispersão do volume em relação do diâmetro e altura obtida com os dados originais de 24 árvores e bases de dados 3, 4, 5, 8 e 9. Em que: B0, B3, B4, B5, B8 e B9=base de dados original, 3, 4, 5, 8 e 9, respectivamente.

TABELA 3 Delineamento inteiramente casualizado no esquema de parcelas subdivididas conduzido para verificar a igualdade do volume do fuste com as equações 13, 14, 15 e 16 e com as equações 13, 14, 17 e 18.

BD	FV	GL	QM	F
1	Equação	4	6,96E-06	1,11 ^{ns}
	Interação (Classe x Equação)	40	1,92E-05	3,06*
	Resíduo (b)	156	6,28E-06	
7	Equação	4	1,07E-05	2,80*
	Interação (Classe x Equação)	40	4,46E-05	11,71*
	Resíduo (b)	146	3,81E-06	

Em que: BD = base de dados, FV = fonte de variação, GL = grau de liberdade, QM = quadrado médio, F = estatística F calculada, ns e * = não significativo e significativo ao nível de 5%, respectivamente.

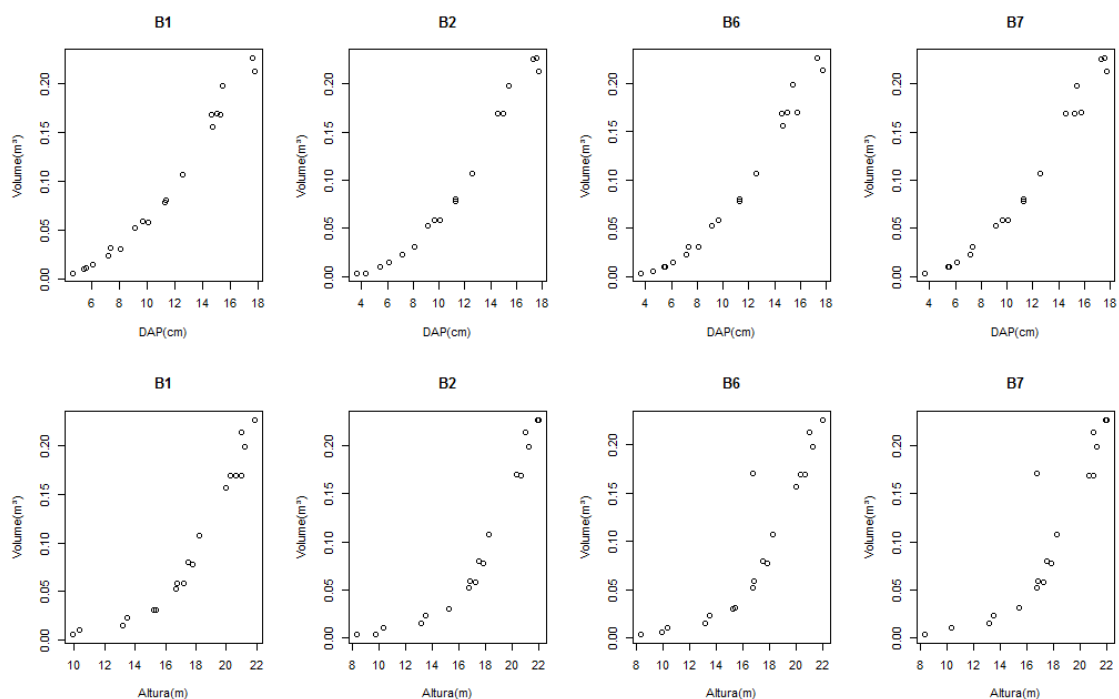


FIGURA 2 Dispersão do volume em relação do diâmetro e altura obtida com as bases de dados 1, 2, 6 e 7. Em que: B1, B2, B6 e B7=base de dados 1, 2, 6 e 7, respectivamente.

TABELA 4 Teste Dunnet aplicado nas bases de dados original, 1 e 7 para verificar a igualdade do volume real do fuste obtido por Huber com as equações geradas a partir dos modelos 1 e 2, equações: 13, 14, 15, 16, 17 e 18.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	EMD	NCD ^{ns}
Base de Dados 1 – 20 árvores-amostra cubadas							
Equação 13 (BO)	0	0	0	0,005	0,015	0,004	3
Equação 14 (BO)	0	0	0	0,005	0	0,001	4
Equação 15 (B1)	0	0	0	0,006	0,009	0,003	3
Equação 16 (B1)	0	0	0	0,006	0	0,001	4
Base de Dados 7 – 19 árvores-amostra cubadas							
Equação 13 (BO)	0	0,004	0	0,008	0,02	0,006	2
Equação 14 (BO)	0	0	0,004	0,009	0,006	0,004	2
Equação 17 (B1)	0	0	0	0,01	0,015	0,005	3
Equação 18 (B1)	0	0	0,004	0,01	0,006	0,004	2

Em que: BO= base de original, B1= base de dados 1, B7= base de dados 7, EMD= erro médio Dunnett, NCD^{ns}= numero de classes não significativa.

Quanto as equações 13 e 15 (modelo 1), a estatística NCD^{ns} apresentou resultado igual para ambas bases de dados 1 e original, sendo três classes com ED^{ns}. Isso resultou em EMD do modelo 1 de 0,003m³ para a base de dados 1 (equação 15) e de 0,004m³ para a base de dados original (equação 13). Assim, com esses resultados, pôde-se verificar que o modelo 2 (equações 14 e 16) foi mais estável que o 1 (equações 13 e 15), cuja superioridade é corroborada pela Figura 3 que mostra uma distribuição de resíduos melhor e bem similar ao que foi obtido pela base de dados original para o modelo 2 (equação 16 versus equação 14).

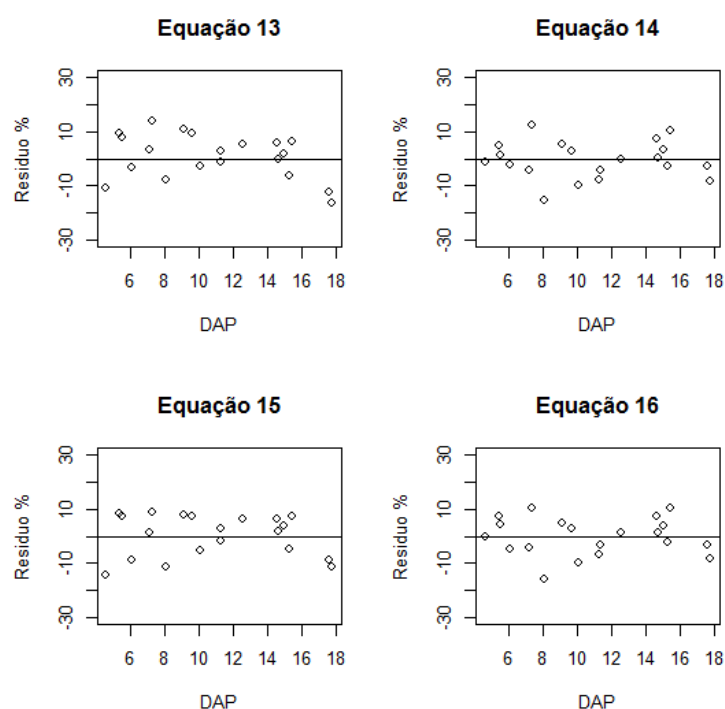


FIGURA 3 Distribuição de resíduos dos modelos volumétricos 1 (equações 13 e 15) e 2 (equações 14 e 16) obtida com informações geradas pelas bases de dados 1.

Por outro lado, na comparação da base de dados 7 com o original, as equações 14 e 18 (modelo) apresentaram NCD^{ns} para ambas bases de dados em duas classes de diâmetro, expressando ED^{ns} e, estatisticamente, um erro de 0,00%. Esse resultado, ao ser incluído nos valores das demais classes diamétricas com ED^* , resultou em EMD de $0,004m^3$ para ambas equações 14 e 18 obtidas a partir do modelo 2 ajustado as bases de dados original e 7, respectivamente.

Quanto ao modelo 1 (equações 13 e 17), a estatística NCD^{ns} ocorreu em duas classes diamétricas para a equação 13 a base de dados original e três para a equação 17 (base de dados 7), o que resultou para esta equação um EMD de $0,005m^3$ contra $0,006m^3$ (equação 13) para a base de dados original. Esses resultados, permitem a mesma conclusão da análise anterior feita para a base de dados 1, onde as equações 14 e 16 se demonstraram mais estáveis. Nesse caso, a Figura 4 corrobora em favor de tais equações geradas a partir do modelo 2.

Diante disso, quanto a base de dados potencial em substituir a base de dados original (24 árvores cubadas), pode-se inferir que a base de dados 1 (20 árvores cubadas) é o mais apropriado para o ajuste de modelos volumétricos. Tal decisão, em relação as 24 árvores cubadas originalmente, reduziu o número de árvores-amostra para cubagem rigorosa em cerca de 16,67%.

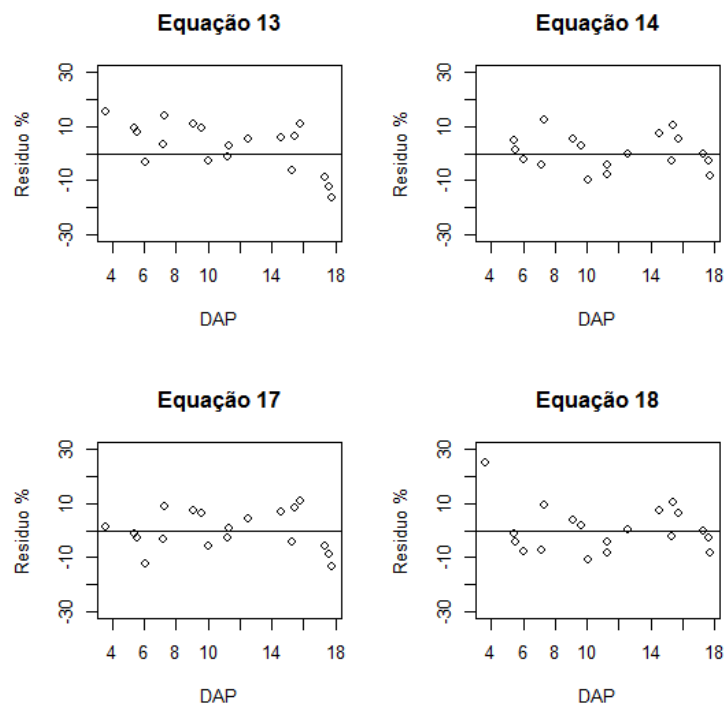


FIGURA 4 Distribuição de resíduos dos modelos volumétricos 1 (equações 13 e 17) e 2 (equações 14 e 18) obtida com informações geradas pelas bases de dados 7.

Equação volumétrica com variável binária TX

Utilizando-se as informações da base de dados 1, ajustou-se o modelo 2 com a inclusão da variável binária TX a fim de estimar o volume com e sem casca, simultaneamente, na mesma equação. O resultado foram as seguintes equações volumétricas 19, 20 e 21:

$$\hat{v} = \left\{ \frac{[0,0004 * (D^2H) - 0,0103]^{0,405}}{e^{[1 + 2,607 * (\frac{1}{D})]}} e^{[-0,107(TX)]} \right\}^2 ; R^2_{aj} = 0,994 \text{ e } Sv_{\hat{v}} = 8,32\% \text{ (Equação 19)}$$

$$\hat{v} = \left\{ \frac{[0,0004 * (D^2H) - 0,0106]^{0,401}}{e^{[1 + 2,109 * (\frac{1}{D})]}} e^{[-1,317 * (\frac{TX}{D})]} \right\}^2 ; R^2_{aj} = 0,994 \text{ e } Sv_{\hat{v}} = 8,42\% \text{ (Equação 20)}$$

$$\hat{v} = \left\{ \frac{[0,0004 * (D^2H) - 0,0177]^{0,406}}{e^{[1 + 2,151 * (\frac{1}{D})]}} e^{[-0,073(TX) * (\frac{H}{D})]} \right\}^2 ; R^2_{aj} = 0,994 \text{ e } Sv_{\hat{v}} = 8,36\% \text{ (Equação 21)}$$

Por outro lado, as equações para estimar os volumes com e sem casca sem a variável TX, geradas a partir do modelo 2 com informações da base de dados 1, são duas equações que correspondem a equação 16 e a seguinte equação 22:

Vol sem casca:
$$\hat{v} = \left\{ \frac{[0,0002 * (D^2H) - 0,0121]^{0,4583}}{e^{[1 + 1,2209 * (\frac{1}{D})]}} \right\}^2 ; R^2_{aj} = 0,993 \text{ e } Sv_{\hat{v}} = 7,80\% \text{ (Equação 22)}$$

Na Figura 5, a distribuição de resíduos favorece o emprego da equação 19, isto é, favorece o uso da variável binária TX na forma de ajuste $\beta(TX)$. Ao se comparar com o modelo 2 (Figura 3), sem acréscimo da variável binária TX (Equação 16), nota-se que a distribuição de resíduos é similar, com ligeira superioridade ao uso da equação 19.

Apesar do modelo 2 sem o uso de TX ter distribuição de notas favorecida (Tabela 5), os resultados das estatísticas D, DPD e SQRR são muito próximos do que foi obtido pela equação 19. Como trata-se de um ajuste simultâneo, que permite obter o volume com e sem casca na mesma equação volumétrica, a equação 19 se mostra com bom potencial para uso ao invés do ajuste sem o uso de Tx, que exige o ajuste de duas equações em separado para obter o volume com e sem casca (Equações 16 e 22).

TABELA 5 Estatísticas utilizadas na avaliação dos volumes com e sem casca obtidos pelo emprego do modelo 2 na base de dados 1, com e sem o emprego da variável binária Tx.

Volume com Casca					
Equação	D	DPD	SQRR	Somatório	TG
16	0,00009 ¹	0,0048 ¹	0,091 ¹	3	6
19(TX=0)	0,00010 ²	0,0049 ²	0,094 ²	6	14
20(TX=0)	0,00067 ⁴	0,0067 ⁴	0,126 ⁴	12	23
21(TX=0)	0,00022 ³	0,0050 ³	0,095 ³	9	15
Volume Sem Casca					
	D	DPD	SQRR	Somatório	
22	0,00005 ¹	0,0046 ¹	0,087 ¹	3	
19(TX=1)	0,00006 ²	0,0054 ³	0,103 ³	8	
20(TX=1)	-0,00050 ³	0,0087 ⁴	0,165 ⁴	11	
21(TX=1)	-0,00006 ²	0,0051 ²	0,097 ²	6	

Em que: D = desvio médio, DPD = desvio padrão das diferenças, SQRR = soma dos quadrados dos resíduos relativos, valores dos expoentes são notas de cada modelo e TG = total geral incluindo volume com e sem casca.

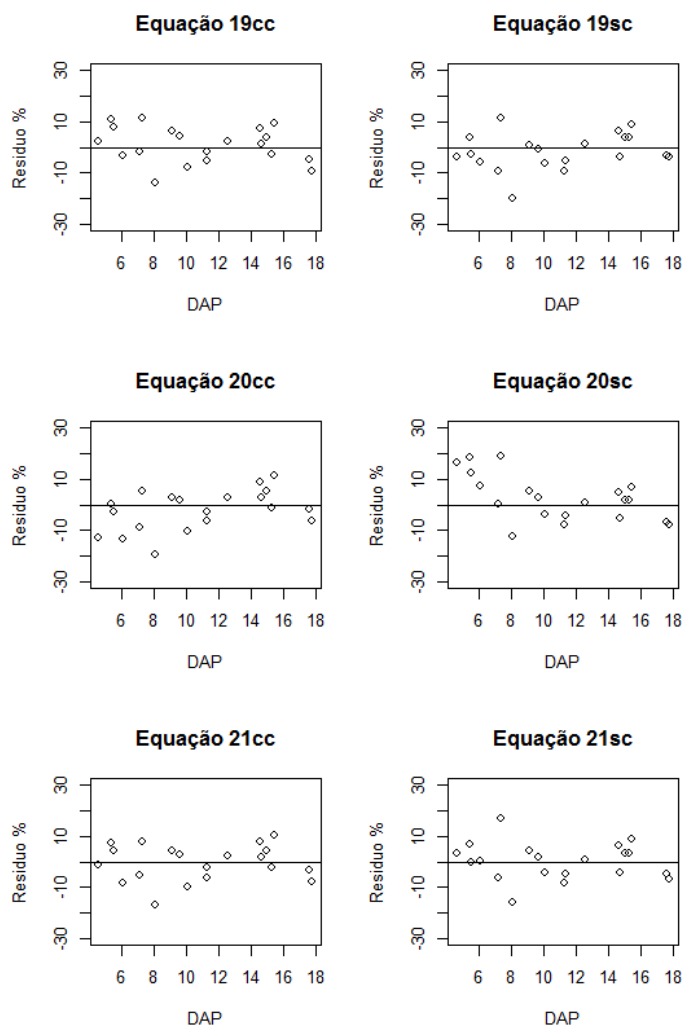


FIGURA 5 Distribuição de resíduos obtidos para o modelo volumétrico 2 ajustado com a variável binária Tx utilizando-se as informações do base de dados 1.

Diante disso, nota-se que a equação 19 pode ser utilizada para quantificar, simultaneamente, o volume com e sem casca. Isso, aliado à redução de 16% no número de árvores para cubagem rigorosa (de 24 se reduziu para 20 árvores), proporciona otimização no tempo de coleta de dados e processamento do inventário florestal (uso de Tx) quanto à estimativa do estoque de madeira com e sem casca em plantios florestais.

CONCLUSÃO

A melhor dinâmica de amplitude de classe diamétrica e número árvores para cubagem, visando o ajuste de equações volumétricas, foi a amplitude de 2,8 cm com 5 árvores por classe (Base de Dados 1) sendo preferível o ajuste do modelo 2, do tipo biomatemático, que foi mais estável que o modelo 1 que é do tipo linear múltiplo.

A aplicação da variável binária Tx possibilitou redução na geração de equações para obter volume com e sem casca, devendo-se preferir a utilização da variável binária do tipo $\beta(TX)$, evidenciando ser a melhor forma de quantificar, simultaneamente, o volume com e sem casca em plantios florestais.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, V. C. L. Modelos de taper do tipo expoente-forma para descrever o perfil do fuste de árvores. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 271-283, 2014.

BANZATTO, A. D.; KRONKA, S. N. 2006. **Experimentação agrícola**. 4ª ed. Jaboticabal, FUNEP. 237p.

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

CORREA, S. M. B. B. 2003. **Probabilidade e Estatística**. 2ª. ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual. 116p.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **IPEF**, n. 37, p. 33-44, 1987.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L. f. **Acta Amazônica**, v. 36, n. 4, p. 465-482, 2006.

HIGUSHI, N.; GOMES, B.; SANTOS, J.; CONSTANTINO, N. A. Tabela de volume para povoamento de *Eucalyptus grandis* plantado no município de Várzea Grande, (MT). **Floresta**, v. 10, n. 1, p. 43-47, 1979.

LANSSANOVA, L. R.; UBIALLI, J. A.; ARCE, J. E.; PELISSARI, A.; FAVALESSA, C. M.; DRESCHER, R. Avaliação de funções de afilamento para a estimativa de diâmetro de espécies florestais comerciais do bioma amazônico mato-grossense. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 215-224, 2013.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **Revista Árvore**, v. 27, p. 301-310, 2003.

MELO, L. C. M.; 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, n. 76, p. 379-386, 2013.

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA, J. T. S.; NOGUEIRA, G. S.; ASSIS, A. L. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. **CERNE**, v. 13, n. 1, p. 71-82, 2007.

PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L.; QUINTAES, P. C. G.; SOARES, V. P. Análise de equações volumétricas para *Eucalyptus* spp., segundo o método de regeneração na região de José de Melo em Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 7, p. 56-70, 1983.

PELISSARI, 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.

PORTELLA, A. C. F. et al. 2015. Estatística Básica. 1ª.ed. Palmas: Universidade Federal do Tocantins, 154p.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Estatística Descritiva: Distribuições de Frequências. **Análises estatísticas no Excel** - guia prático. 1ª. ed. Viçosa: Editora UFV. 72-73p, 2004.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M.; FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazônica**, v. 36, n. 1, p. 107-114, 2006.

SALES, F. C. V.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; GADELHA, F. H. L. Ajustes de modelos volumétricos para o clone *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* cultivados no agreste de Pernambuco. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 663-670, 2015.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M.; TOTTI, J. A.; BAZZO, J. L. Forma de tronco e sortimentos de madeira de *Eucalyptus grandis* Maiden para o estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 79-88, 1996.

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 6. ed. 80p. 2012.

SILVA, F.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro, **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 367-376, 2011.

SOUZA, C. A. M. CHASSOT, T.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F. D. Modelos de afilamento para o sortimento do fuste de *Pinus taeda* L. **Ciência Rural**, v. 38, p. 2506-2511, 2008.

TÉO, S. J.; MARCON, A.; EHLERS, T.; BIANCHI, J. C.; PELOSO, A.; NAVA, P. R.; COSTA, R. H. Modelos de afilamento para *Pinus elliottii* em diferentes idades, na região de Caçador, SC. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 439-452, 2013.

TORQUATO, M. C. Inventário Florestal na Cia Agrícola e Florestal Santa Bárbara. Boletim Informativo. **IPEF**, v. 6, p. 55-100, 1978.