

Identidade de modelos volumétrico e de afilamento para *Corymbia citriodora*

David Lucas Camargo Vieira Terra¹ Valdir Carlos Lima de Andrade² Brenno Cunha Freitas¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins, campus de Gurupi. Rua Badejós, Lote 7, Chácaras 69 e 72, Zona Rural Gurupi-TO. 77402-970

² Universidade Federal do Tocantins, campus de Gurupi. Rua Badejós, Lote 7, Chácaras 69 e 72, Zona Rural Gurupi-TO. 77402-970

*Author for correspondence: davidlv7@hotmail.com

Received: 21 September 2017 / Accepted: 30 November 2017 / Published: 31 March 2018

Resumo

Este trabalho objetivou avaliar diferentes formas de agrupamento de dados para o ajuste de modelos volumétrico e de afilamento utilizando-se como base o resultado do teste de identidade de modelos de Graybill. Foram utilizados dados obtidos na cubagem rigorosa de 35 e 24 árvores-amostra abatidas em dois plantios de *Corymbia citriodora* com 55 e 67 meses de idade, respectivamente. Os agrupamentos avaliados foram organizados em três diferentes classes de diâmetro e relação da altura sobre diâmetro, além da divisão por idade. Após o ajuste, conforme o resultado do teste de identidade de modelos, avaliou-se as equações geradas por meio do erro padrão residual, coeficiente de determinação ajustado e análise gráfica da distribuição de resíduos. Concluiu-se que o ajuste de modelos volumétrico e de afilamento devem ser feitos por idade, sendo o modelo de afilamento, dentro da idade, ser ajustado com dados agrupados por classe de diâmetro, ou, por classe de altura sobre diâmetro. Os resultados mostraram melhorias no ajuste, com expressiva redução do erro padrão residual do modelo reduzido para o modelo completo.

Palavras-chaves: Volumetria, Biometria Florestal, multiprodutos da madeira

Abstract

This work aimed to evaluate different forms of data grouping for adjustment of volumetric models and taper, based on the Graybill model identity test result. Data were obtained from strict cubing of 35 and 24 sampled trees in two plantations of *Corymbia citriodora* at 55 and 67 months of age, respectively. The groupings evaluated are organized into three different diameter classes and height-to-diameter ratio, in addition to age division. After adjusting, according to the model identity test result, was evaluate the equations generated by means of residual standard error, adjusted determination coefficient and graphical analysis of the waste distribution. It was concluded that the adjustment of volumetric and tapering models should be done by age, and the tapering model, within age, be adjusted with data grouped by diameter class, or, by height class over diameter. The results showed improvements in fit, with significant reduction of the residual standard error of the reduced model for the complete model.

Keywords: Volumetry, Forest Biometrics, multiproducts of wood.

Introdução

Originário da Austrália, o eucalipto encontrou no Brasil condições ideais para o seu desenvolvimento tendo rápido crescimento. Segundo IBÁ (2016), existem no país, cerca de 5,6 milhões de hectares de plantios com eucalipto, onde se inserem plantios com *Corymbia citriodora*, popularmente, conhecido como eucalipto citriodora. Sendo assim, a quantificação do estoque de madeira nesses plantios, é indispensável para disponibilizar informações essenciais à tomada de decisões do manejo sustentado de sua produção.

Diante disso, ocorre uma vasta gama de situações que pode exigir a estimação de uma grande quantidade de equações volumétricas e, ou, de afilamento. Exemplo destas situações, são:

idade, espaçamento de plantio, tipo de solo, espécie, índice de sítio, sistema de manejo, dentre outras. Nesse cenário, segundo Scolforo (1993) e Regazzi e Silva (2004), o teste de identidade de modelos é uma opção para identificar se a situação em estudo pode ser representada por uma única equação, que agrupe dados de situações distintas, ou, se é possível estimar uma equação para cada situação em separado das demais.

Há muitas aplicações do teste de identidade de modelos nas diferentes áreas do conhecimento. Além da comparação de curvas de crescimento de bovinos e até mesmo na área médica, pode-se ver um intenso emprego do teste de identidade de modelos no setor florestal, cabendo citar o uso em modelos de afilamento (Figueiredo et al. 2006; Nogueira et al. 2008; Queiroz et al. 2008 e Kohler et al. 2013); em modelos volumétricos (Leite e Regazzi, 1996; Vendruscolo et al. 2014 e Martins et al. 2015); em modelos hipsométricos (Azevedo et al. 1999; Leite e Andrade, 2003; Andrade et al. 2015 e Vendruscolo et al. 2015). No entanto, observa-se que ainda são escassos trabalhos sobre modelagem com o *Corymbia citriodora*, principalmente, aplicando o teste de identidade de modelos.

Portanto, devido à aplicabilidade do teste de identidade de modelos na formação do banco de dados para ajuste de modelos estatísticos em diferentes situações, principalmente, na área florestal, aliado a escassez de trabalhos sobre volumetria do *Corymbia citriodora* no Brasil, esse trabalho teve por objetivo utilizar o teste de identidade de modelos de Graybill para definir a necessidade de agrupamento, ou, não agrupamento de dados de cubagem no ajuste de modelos volumétrico e de afilamento para esta importante espécie florestal.

Material e métodos

Coleta de dados e modelos estatísticos utilizados

Foram utilizados dados obtidos em dois plantios seminais de *Corymbia citriodora* com 55 e 67 meses de idade localizados na região sul do Tocantins, próximo ao município de Gurupi. Essa região, com 225 m de altitude, tem temperatura média mensal de 24°C e precipitação anual em torno de 1.600 mm, ocorrendo entre Outubro e Maio (INMET, 1992).

Nos dois plantios, foram cubadas um total 59 árvores-amostra sendo 35 árvores na área com 55 meses de idade e 24 árvores na área com 67 meses de idade. Nesta cubagem rigorosa, foram medidos os diâmetros do tronco à 0,2 m, 0,4 m, 0,7 m, 1,3 m, 2,7 m e, sucessivamente, de 2 m em 2 m até um diâmetro em torno de 1 cm com casca.

Os dados do perfil do tronco, obtidos na cubagem rigorosa, foram utilizados no ajuste do modelo de afilamento de Schöepfer (1966). Já, os dados de volume real do fuste, obtidos pela aplicação da fórmula de Huber, foram utilizados no ajuste do modelo de Schumacher e Hall (1933). Tais modelos utilizados, foram escolhidos por serem os mais difundidos no Brasil, conforme se nota em: Pires e Calegario (2007); Mendonça et al. (2007); Thomas et al. (2006); Oliveira et al. (2009); Azevedo et al. (2011a e 2011b), dentre muitos outros. Portanto os modelos utilizados de volume e afilamento, respectivamente, são os seguintes:

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \ln(H) + \ln(\epsilon) \quad (1),$$

$$\left(\frac{d}{DAP}\right) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2 \left(\frac{h}{H}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h}{H}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h}{H}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h}{H}\right)^5 + (\varepsilon) \quad (2).$$

Em que: β_i = coeficientes do modelo a serem estimados; \ln = logaritmo neperiano; v = volume real do fuste obtido por Huber (m^3); d = diâmetro medido em diferentes alturas ao longo do fuste (cm); DAP = diâmetro medido à 1,3 m de altura (cm); H = altura total (m); h = altura ao longo do tronco referente a d (m); ε = erro de estimativa do modelo.

Identidade de Modelos

Inicialmente, um teste de identidade de modelos foi utilizado para decidir, ou pelo ajuste de uma única equação para volume e afilamento, independentemente da idade, ou pelo ajuste de equações separadas por idade de 55 meses e 67 meses, respectivamente. Em seguida, após a decisão quanto ao ajuste considerando a idade, o referido teste foi utilizado dentro de cada idade para decidir, ou, pelo ajuste de uma equação para cada classe de diâmetro (CD), ou, pelo ajuste de uma equação por classe da relação: H/D (CHD), sendo utilizadas três classes tanto de CD como de CHD.

Na decisão, quanto as diferentes situações de idade, CD e CHD, empregou-se o teste de identidade de modelos de Graybill (1976), o qual, descrito por: Regazzi (1993), Azevedo et al. (1999), Leite e Andrade (2003), Martins et al. (2015) e Vendruscolo et al. (2015), usa o teste F para verificar a significância da diferença entre a soma dos quadrados das regressões ajustadas para cada situação (modelo completo) e a soma dos quadrados da regressão ajustada para o conjunto total dos dados (modelo reduzido). A seguir, foram apresentados os seguintes modelos completos de volume e afilamento, sendo que os modelos reduzidos já foram apresentados anteriormente (modelos 1 e 2):

Modelos Completos de Volume e Afilamento Para Idade:

$$\ln(v) = \beta_1(D1) + \beta_2 \ln(DAP)(D1) + \beta_3 \ln(H)(D1) + \beta_4(D2) + \beta_5 \ln(DAP)(D2) + \beta_6 \ln(H)(D2) + \ln(\varepsilon) \quad (3),$$

$$\left(\frac{d}{DAP}\right) = \beta_1(D1) + \beta_2 \left(\frac{h}{H}\right)(D1) + \beta_3 \left(\frac{h}{H}\right)^2(D1) + \beta_4 \left(\frac{h}{H}\right)^3(D1) + \beta_5 \left(\frac{h}{H}\right)^4(D1) + \beta_6 \left(\frac{h}{H}\right)^5(D1) + \beta_7(D2) + \beta_8 \left(\frac{h}{H}\right)(D2) + \beta_9 \left(\frac{h}{H}\right)^2(D2) + \beta_{10} \left(\frac{h}{H}\right)^3(D2) + \beta_{11} \left(\frac{h}{H}\right)^4(D2) + \beta_{12} \left(\frac{h}{H}\right)^5(D2) + \varepsilon \quad (4),$$

Modelos Completos de Volume e Afilamento por CD ou CHD:

$$\ln(v) = \beta_1(D1) + \beta_2 \ln(DAP)(D1) + \beta_3 \ln(H)(D1) + \beta_4(D2) + \beta_5 \ln(DAP)(D2) + \beta_6 \ln(H)(D2) + \beta_7(D3) + \beta_8 \ln(DAP)(D3) + \beta_9 \ln(H)(D3) + \ln(\varepsilon) \quad (5),$$

$$\left(\frac{d}{DAP}\right) = \beta_1(D1) + \beta_2 \left(\frac{h}{H}\right)(D1) + \beta_3 \left(\frac{h}{H}\right)^2(D1) + \beta_4 \left(\frac{h}{H}\right)^3(D1) + \beta_5 \left(\frac{h}{H}\right)^4(D1) + \beta_6 \left(\frac{h}{H}\right)^5(D1) + \beta_7(D2) + \beta_8 \left(\frac{h}{H}\right)(D2) + \beta_9 \left(\frac{h}{H}\right)^2(D2) + \beta_{10} \left(\frac{h}{H}\right)^3(D2) + \beta_{11} \left(\frac{h}{H}\right)^4(D2) + \beta_{12} \left(\frac{h}{H}\right)^5(D2) + \beta_{13}(D3) + \beta_{14} \left(\frac{h}{H}\right)(D3) + \beta_{15} \left(\frac{h}{H}\right)^2(D3) + \beta_{16} \left(\frac{h}{H}\right)^3(D3) + \beta_{17} \left(\frac{h}{H}\right)^4(D3) + \beta_{18} \left(\frac{h}{H}\right)^5(D3) + \varepsilon \quad (6).$$

Em que: $[D_1 D_2] = [1 \ 0]$ para idade 1 (55 meses); $[D_1 D_2] = [0 \ 1]$ para idade 2 (67 meses); $[D_1 D_2 D_3] = [1 \ 0 \ 0]$ para a classe 1 de CD ou CHD; $[D_1 D_2 D_3] = [0 \ 1 \ 0]$ para a classe 2 de CD ou CHD; $[D_1 D_2 D_3] = [0 \ 0 \ 1]$ para a classe 3 de CD ou CHD.

Na Tabela 1, se o valor de FG for significativo ao nível de 5% de significância, deve-se optar pelo modelo completo (rejeita-se H_0). Já, quando ocorrer o contrário (teste FG não-significativo), deve-se optar pelo modelo reduzido (aceita-se H_0). Ressalta-se que, para o caso de se evidenciar significância às situações de CD e CHD, outras diferentes combinações de agrupamento foram testadas, conforme são apresentadas na Tabela 2 (combinações 3, 4 e 5).

Crerios estatísticos de avaliação

Visando avaliar o ajuste das diferentes situações obtidas de idade, CD e CHD, indicadas pelo teste de identidade, além da análise da distribuição de resíduos, foram utilizadas as estatísticas: erro padrão residual e coeficiente de determinação ajustado, sendo estas calculadas para as variáveis transformadas de interesse volume e diâmetro, as quais foram obtidas por meio de:

$$s_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2}{n-P}} \quad (7),$$

$$s_{yx}(\%) = \left(\frac{s_{yx}}{c}\right) 100 \quad (8).$$

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p}\right) \left(\frac{SQR}{SQT}\right) \quad (9).$$

Em que: i = i ésima árvore, s_{yx} = erro padrão residual (m^3 , cm e %), R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado, a = volume ou diâmetro real (m^3 ou cm), b = volume ou diâmetro estimado (m^3 ou cm), n = número de dados utilizados, P = número de coeficientes estimados do modelo, c = volume ou diâmetro real médio (m^3 ou cm), SQR = soma de quadrados dos resíduos, SQT = soma de quadrados totais.

Tabela 1 - Teste de identidade de modelos utilizado para testar as hipóteses H_0 e H_a

Fonte de variação	GL	SQ	QM	FG
Modelo Completo	(C)(P)	$SQ_{(completo)}$		
Modelo Reduzido	P	$SQ_{(reduzido)}$		
Diferenças para testar hipóteses	(C)(P)-P	SQ_1	QM ₁	QM ₁ /QM ₂
Resíduos	N-(C)(P)	SQ_2	QM ₂	
Total	N	$SQ_{(Total)}$	-	-

GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio; FG= estatística F de Graybill; C= número de classes; P= número de coeficientes ajustado do modelo; N= número total de dados; SQ_1 = $SQ_{(completo)}$ - $SQ_{(reduzido)}$; SQ_2 = $SQ_{(Total)}$ - $SQ_{(completo)}$; QM_1 = $SQ_1/(C)(P)-P$; QM_2 = $SQ_2/[N-(C)(P)]$.

Tabela 2 - Combinações verificadas pelo teste de identidade de modelos considerando duas idades e três classes de CD e CHD

Combinação	Situação
1 (2 idades)	55 meses e 67 meses (idade)
2 (3 classes)	1, 2 e 3 (CD, ou, CHD)
3 (classe 1 com 2)	classes 1 e 2 separado da 3 (CD, ou, CHD)
4 (classe 2 com 3)	classes 2 e 3 separado da 1 (CD, ou, CHD)
5 (classe 1 com 3)	classes 1 e 3 separado da 2 (CD, ou, CHD)

CHD= classe de altura dividida pelo diâmetro (H/D); CD=classe de diâmetro.

Resultados e Discussão

Análise descritiva dos dados

Na análise descritiva dos dados (Tabela 3), ao se considerar o intervalo interquartil, observou-se que 50% das árvores de 67 meses de idade tem diâmetro entre 6,4 e 15,2 cm, altura entre 13,2 e 20,5 m e volume entre 0,017 e 0,169 m^3 . Já, para 55 meses de idade, 50% das árvores tem diâmetro entre 6,9 e 13,2 cm, altura entre 10,7 e 17,2 m e volume entre 0,0195 e 0,1162 m^3 . Também, pode-se ver que a altura tem a menor variabilidade com CV de 29,9% para 55 meses e de 26,3% para 67 meses.

Teste de identidade de modelos de volume

O teste de identidade, feito para volume de *Corymbia citriodora* em duas idades e três diferentes classes de CD e CHD, é apresentado na Tabela 4. Nota-se que o agrupamento com idade (combinação 1 - Tabela 2) apresentou estatística FG significativa, indicando ser necessário o ajuste para idades em separado, ou seja, é mais apropriado gerar duas equações volumétricas distintas, sendo uma para cada idade.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas de *Corymbia citriodora* com 55 e 67 meses de idade

	H (m)	DAP (cm)	v (m³)	d (cm)
55 meses				
Máximo	19,0	16,9	0,1761	19,3
Mínimo	4,8	3,4	0,0031	1,2
Média	13,4	9,9	0,0656	8,9
Amplitude	14,2	13,5	0,1730	18,1
P25	10,7	6,9	0,0195	5,2
P75	17,2	13,2	0,1163	11,9
CV	29,9%	40,5%	83,2%	46,5%
67 meses				
Máximo	22,0	17,8	0,2265	20,8
Mínimo	8,3	3,6	0,0037	3,3
Média	16,4	10,8	0,0944	10,3
Amplitude	13,7	14,1	0,2229	17,6
P25	13,2	6,4	0,0170	6,5
P75	20,5	15,2	0,1694	13,5
CV	26,3%	43,2%	85,2%	42,6%

Em que: d= diâmetro em diferentes posições no tronco; P25= percentil 25; P75= percentil 75; CV=coeficiente de variação; D= diâmetro a 1,3 m; H= altura total; V=volume.

Tabela 4 - Teste de identidade para o agrupamento de duas idades e quatro combinações de classes de CD e CHD aplicando o modelo volumétrico de Schumacher-Hall

Situação	Combinação	QM ₁	QM ₂	FG
55 e 67 meses	1	0,03799	0,01176	3,23 *
CHD - 67 meses	2	0,01400	0,01687	0,83 ns
CD - 67 meses	2	0,01581	0,01615	0,98 ns
CHD - 55 meses	2	0,00639	0,00456	1,40 ns
CD - 55 meses	2	0,00970	0,00379	2,56 *
	3	0,01210	0,00420	2,88 ns
	4	0,00050	0,00210	0,23 ns
CD - 55 meses	4	0,00050	0,00210	0,23 ns
	5	0,00970	0,00490	1,99 ns

Em que: * e ns= significativo e não significativo ao nível de 5%, FG= estatística F de Graybill.

Por outro lado, a não significância para a combinação 2, indica ser ideal usar o modelo reduzido por idade, conforme já verificado pela identidade da combinação 1. Exceção, se nota para CD de 55 meses de idade, que mostrou ser mais adequado realizar o ajuste em separado por CD, pois foi FG significativo (FG= 2,56*). Neste caso, procedeu-se ao teste de identidade nas demais combinações 3, 4, 5 (Tabela 2) resultando em não significância para todas essas combinações (Tabela 4). Portanto, para modelo volumétrico de Schumacher & Hall, o teste de identidade indicou ser mais apropriado fazer o ajuste por classe de diâmetro na idade de 55 meses (modelo completo por CD) e um só ajuste para a idade de 67 meses (modelo reduzido).

Na Tabela 5 são apresentados os resultados referentes ao ajuste do modelo de Schumacher & Hall conforme os resultados do teste de identidade (Tabela 4). Houve um bom ajuste com syx% sendo maior para o modelo reduzido na idade de 67 meses (13,07%). Para o ajuste por CD com 55 meses de idade, o ajuste se mostrou mais preciso quando realizado tendo as classes 1, 2 e 3 separadas (combinação 2 - Tabela 2), conforme pode ser

constatado pelo syx de 5,72% (Tabela 5), melhor que as demais combinações.

Tabela 5 - Resultados do ajuste do modelo de Schumacher-Hall para *Corymbia citriodora*.

Combinação	Classes	Coeficientes estimados			Estatísticas	
		$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	syx(%)	R ² aj
67 meses Reduzido						
1 (n=24)	1, 2 e 3	-10,694	2,1401	1,0322	13,07	0,988
55 meses Reduzido						
1 (n=35)	1, 2 e 3	-9,1579	2,1721	0,455	8,09	0,991
55 meses CD						
2	1 (n=13)	-8,9656	2,2518	0,3032	5,72	0,998
	2 (n=12)	-9,9151	1,8768	1,0018		
	3 (n=10)	-9,6038	1,6732	1,0806		
	1 e 2 (n=25)	-9,1	2,2159	0,3937		
	2 e 3 (n=22)	-9,9114	1,81052	1,05888		
5	1 e 3 (n=23)	-9,0625	2,2352	0,3625	8,03	0,991

$\hat{\beta}$ = coeficientes estimados, syx(%)= erro padrão residual (%), R²aj= coeficiente de determinação ajustado.

Quanto ao R²aj (Tabela 5), por resultarem em valores altos, maiores que 0,990, não há base conclusiva para se decidir quanto ao ajuste volumétrico de melhor qualidade. Exceção se poderia fazer no ajuste do modelo reduzido aos 67 meses de idade, no qual se obteve R²aj de 0,988, ainda podendo ser considerado alto para modelos volumétricos.

Na Figura 1 observa-se que o modelo volumétrico apresentou boa distribuição de resíduos em ambas as idades, sendo melhor na idade de 55 meses para o ajuste com as combinações 2 (C2) e 4 (C4). Com este resultado, similar na distribuição de resíduos para C2 e C4, pode-se voltar a análise no syx que resultou em superioridade de C2 (5,72%) frente à C4 (5,87%). Portanto, no ajuste de modelos volumétricos para *Corymbia citriodora* com 55 meses de idade, é mais apropriado fazê-lo por classe de diâmetro.

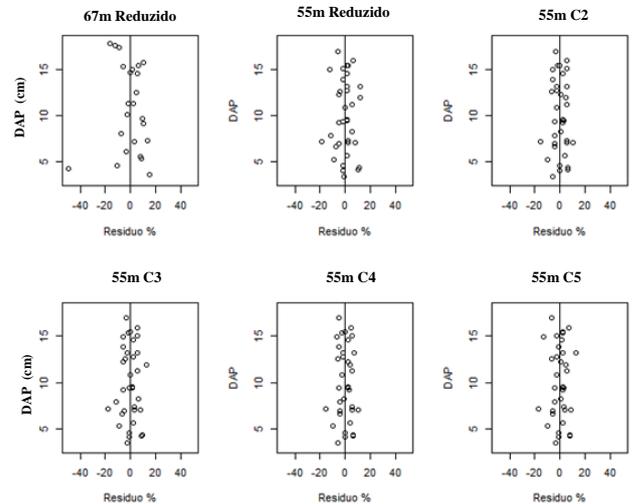


Figura 1 - Distribuição de resíduos empregando-se o modelo de Schumacher & Hall em diferentes idades e classes diamétricas de *Corymbia citriodora*

Em que: 67m=idade de 67 meses; 55m=idade de 55 meses C2, C3, C4 e C5= combinações 2, 3, 4 e 5 (Tabela 2).

Pode-se ressaltar que houve compatibilidade entre o que o teste de identidade indicou ser mais apropriado no ajuste (Tabela 4) e a análise feita quanto ao nível de ajuste pelas estatísticas syx e R²aj (Tabela 5), além da distribuição de resíduos (Figura 1), na qual o modelo reduzido e as combinações 3 e 5, resultaram em uma distribuição de resíduos muito mais dispersa ao longo do eixo de zero resíduos percentuais que para o uso de C2 e C4, os quais se mostraram com distribuição mais homogênea e equilibrada.

Teste de identidade de modelos de afilamento

Na Tabela 6 são apresentados os resultados do teste de identidade aplicado ao modelo de afilamento de Schöepfer (1966) para duas idades de *Corymbia citriodora*, além de CD e CHD. Em relação a combinação por idade (combinação 1 – Tabela 2), mostra-se necessário o ajuste em separado com duas equações distintas, sendo uma para cada idade (modelo reduzido). Já, dentro de cada idade, houve diferença significativa em todas as combinações de CD e CHD (combinação 2 – Tabela 2), tanto para 67 meses como para 55 meses, o que indica ser mais apropriado o ajuste do modelo de afilamento em separado por cada classe de diâmetro e ou relação altura-diâmetro. Nesse caso, foi necessário verificar as demais combinações, o que resultou em não significância apenas para CHD na combinação 4 para idade de 55 meses.

Tabela 6 - Teste de identidade para o agrupamento de duas idades e quatro combinações de classes de CD e CHD aplicando o modelo de afilamento de Schöepfer (1966)

Idade	Combinações	QM ₁	QM ₂	FG
55 e 67 meses	1	0,05788	0,00263	21,96 *
	2	0,04386	0,00303	14,49*
	3	0,04826	0,00412	11,72*
	4	0,00694	0,00127	5,47*
	5	0,07954	0,00394	20,19*
55 (CD)	2	0,02214	0,00369	5,68*
	3	0,02648	0,00413	6,42*
	4	0,00818	0,00562	1,45 ^{ns}
	5	0,03191	0,00183	17,45*
	55 (CHD)	2	0,01677	0,00178
3		0,01422	0,00203	7,00*
4		0,00653	0,00162	4,04*
5		0,03026	0,00175	17,25*
67 (CD)		2	0,01441	0,00192
	3	0,0072	0,00176	4,09*
	4	0,00951	0,00162	5,86*
	5	0,02656	0,00179	14,82*
	67 (CHD)	2	0,01441	0,00192
3		0,0072	0,00176	4,09*
4		0,00951	0,00162	5,86*
5		0,02656	0,00179	14,82*

Em que: * e ns= significativo e não significativo ao nível de 5%, FG= estatística F de Graybill.

Na Tabela 7 são apresentados, para a idade de 67 meses, os coeficientes estimados e as estatísticas de ajuste para CD, CHD e idade conforme indicado pelo teste de identidade de modelos (Tabela 6). Verifica-se que o modelo de afilamento apresentou os melhores resultados para a combinação 2 (Tabela 2), inexpressivamente, melhores para CD com syx de 4,77% contra 4,82% de CHD, uma vez que R²aj apresentou resultados excelentes (>0,99) não dando base conclusiva para indicar a superioridade do ajuste entre CD e CHD

Tabela 7 - Resultados do ajuste do modelo de afilamento de Schöepfer (1966) para *Corymbia citriodora* com idade de 67 meses

Combinação	Classes	Coeficientes estimados						Estatísticas	
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	syx%	R ² aj
2 CD	1(n=48)	1,359	-6,229	38,169	-115,277	153,991	-73,568		
	2(n=78)	1,255	-4,881	27,601	-77,334	95,586	-43,323	4,77	0,992
	3(n=95)	1,196	-3,46	14,244	-31,078	29,384	-10,055		
3 CD	1 e 2(n=126)	1,285	-4,805	25,962	-71,317	87,116	-39,213	5,06	0,991
	4 CD	1,219	-3,87	17,865	-43,018	45,719	-17,928	5,07	0,991
5 CD	1 e 3(n=143)	1,238	-3,531	14,261	-31,099	29,399	-10,029	5,69	0,989
	1(n=95)	1,196	-3,46	14,244	-31,078	29,384	-10,055		
2 CHD	2(n=77)	1,256	-4,667	25,447	-70,069	85,552	-38,449	4,82	0,995
	3(n=49)	1,349	-6,281	39,897	-123,816	168,937	-82,126		
3 CHD	1 e 2(n=172)	1,219	-3,767	16,922	-40,061	41,896	-16,182	5,12	0,986
4 CHD	2 e 3(n=126)	1,285	-4,805	25,962	-71,317	87,116	-39,213	5,06	0,986
5 CHD	1 e 3(n=144)	1,236	-3,608	15,047	-33,679	32,824	-11,618	5,63	0,983
	1(n=221)	1,241	-3,849	17,33	-41,375	43,672	-17,011	5,74	0,982

1 a 5=combinações 1 a 5 (Tabela 2), CD=classe de DAP, CHD=classe de H/DAP, β =coeficientes estimados, syx(%)=erro padrão residual (%), R²aj=coeficiente de determinação ajustado.

Na Figura 2, observa-se que a distribuição de resíduos mostrou resultados tendenciosos para o modelo reduzido na idade

de 67 meses, com superestimativas para diâmetros do tronco maiores que 12 cm, aproximadamente. Tal tendência indesejável observa-se, também, para as combinações 3, 4 e 5 ambas por CD e CHD, porém, com superestimativas a partir de 15 cm, aproximadamente. Já, para as combinações 2 CD e 2 CHD, observa-se uma distribuição homogênea e equilibrada ao longo do eixo de zero resíduo (cm), sem tendências de sub ou superestimativas como se obteve nos demais ajustes.

Quanto a idade de 55 meses, observa-se na Tabela 8 os resultados dos coeficientes estimados e as estatísticas de ajuste para CD, CHD e idade do modelo de afilamento. Pode-se verificar o mesmo comportamento obtido para a idade de 67 meses, indicando também a combinação 2, principalmente, quanto a estatística syx com a combinação CD sendo superior à CHD (5,03% versus 5,57%). Já, quanto a distribuição de resíduos (Figura 3), houve indicação da combinação 2 CD que se apresentou de forma mais equilibrada e homogênea que os demais ajustes, os quais apresentaram uma tendência de superestimativa conforme delineado na idade de 67 meses.

Pode-se ressaltar que, conforme o modelo volumétrico, também houve compatibilidade entre o que o teste de identidade indicou ser mais apropriado no ajuste do modelo de afilamento (Tabela 6) e a análise feita quanto ao nível de ajuste pelas estatísticas syx e R²aj (Tabelas 7 e 8), além da distribuição de resíduos (Figuras 2 e 3). Portanto, no ajuste de modelos de afilamento para *Corymbia citriodora* com 55 e 67 meses de idade, é mais apropriado fazê-lo por classe de diâmetro (CD), ou, por classe de relação-diâmetro (CHD).

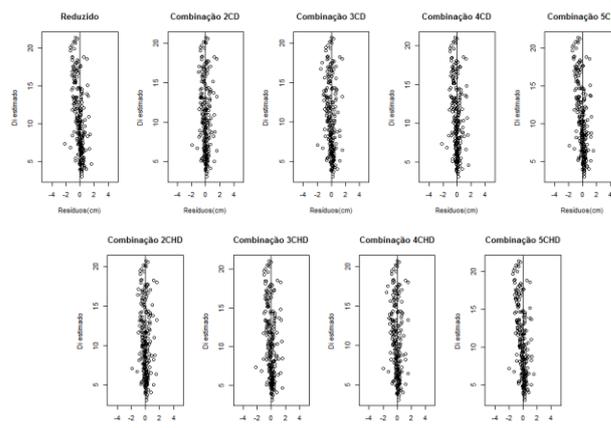


Figura 2 - Distribuição de resíduos empregando-se o modelo de afilamento de Schöepfer com diferentes tipos de agrupamento de dados de *Corymbia citriodora* com 67 meses

Tabela 8 - Resultados do ajuste do modelo de afilamento de Schöepfer (1966) para *Corymbia citriodora* com idade de 55 meses.

Combinação	Classes	Coeficientes estimados						Estatísticas	
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	syx%	R ² aj
2 CD	1(n=88)	1,347	-4,346	22,539	-71,576	105,726	-57,271		
	2(n=115)	1,226	-3,427	13,782	-32,628	36,19	-15,505	5,03	0,997
	3(n=115)	1,185	-3,204	12,446	-27,335	27,015	-10,201		
3 CD	1 e 2(n=203)	1,254	-2,781	8,217	-16,984	18,157	-8,211	5,71	0,996
	4 CD	1,204	-3,211	12,259	-27,416	28,368	-11,4	5,27	0,996
5 CD	1 e 3(n=203)	1,22	-2,086	2,821	0,25	-5,633	3,469	6,81	0,994
	1(n=121)	1,197	-3,291	13,115	-30,568	32,875	-13,617		
2 CHD	2(n=125)	1,206	-1,647	0,28	6,893	-13,614	7,103	5,57	0,995
	3(n=72)	1,324	-4,662	22,904	-64,639	85,766	-42,756		
3 CHD	1 e 2(n=245)	1,198	-2,274	5,531	-8,31	5,843	-1,847	6,02	0,994
4 CHD	2 e 3(n=197)	1,243	-2,447	5,268	-6,565	2,716	-0,168	5,77	0,99
	1 e 3(n=193)	1,232	-3,129	10,726	-22,775	23,146	-9,461	6,20	0,993
5 CHD	1(n=318)	1,221	-2,527	6,508	-10,984	8,838	-3,159	6,59	0,988

1 a 5=combinações 1 a 5 (Tabela 2), CD=classe de DAP, CHD=classe de H/DAP, β =coeficientes estimados, syx(%)=erro padrão residual (%), R²aj=coeficiente de determinação ajustado.

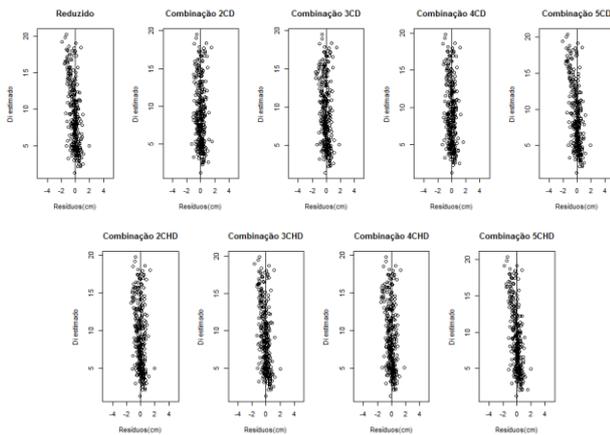


Figura 3 - Distribuição de resíduos empregando-se o modelo de afilamento de Schöepfer com diferentes tipos de agrupamento de dados de *Corymbia citriodora* com 55 meses

Conclusões

O teste de identidade de modelos se mostrou confiável na decisão quanto à forma de agrupamento dos dados para ajustes de modelos de volume e de afilamento. Pôde-se ver, uma compatibilidade entre a indicação do teste de identidade e as análises feitas por meio do erro padrão residual, coeficiente de determinação ajustado e análise de distribuição de resíduos, principalmente, quanto ao uso ou não do modelo reduzido.

Para o modelo volumétrico, o ajuste pode ser realizado utilizando as informações agrupadas em um só banco de dados na idade de 67 meses (ajuste do modelo reduzido). Já, para a idade de 55 meses, esse ajuste deve ser realizado, preferencialmente, com dados agrupados por classes de diâmetro (ajuste do modelo completo por CD).

Para o modelo de afilamento, em ambas idades estudadas, o ajuste pode ser feito, ou, com as informações agrupadas por classe de diâmetro (ajuste do modelo completo por CD), ou, com as informações agrupadas por classe de relação altura sobre diâmetro (ajuste do modelo completo por CHD).

Referências

- Andrade VCL, Kroetz EA, Nicola A, Souza PB, Nohama FK, Leite HG, Binoti DHB, Binoti MLMS (2015). Amostragem e agrupamento de dados de relação hipsométrica em inventários florestais de Cerrado Tocantinense. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35:227-238.
- Azevedo CP, Muroya K, Garcia LC, Lima RMB, Moura JB, Neves EJM (1999). Relação hipsométrica para quatro espécies florestais nativas em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia Ocidental. *Boletim de Pesquisa Florestal*. Embrapa Florestas, (39):5-30.
- Azevedo GB, Sousa GTO, Barreto PAB, Conceição Junior V (2011a). Estimativas volumétricas em povoamentos de Eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 31:309-318.
- Azevedo TL, Mello AA, Ferreira RA, Sanquetta CR, Nakajima N (2011b). Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 6:105-112.
- Garnero A del V, Marcondes CR, Bezerra LAF, Oliveira HN, Lôbo RB (2005). Parâmetros genéticos da taxa de maturação e do peso assintótico de fêmeas da raça Nelore. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 57:652-662.
- Graybill J. Theory and application of the linear model. Belmont: Duxbury. 1976.
- IBÁ. Ibá indústria brasileira de árvores 2016: ano base 2015. Brasília, DF, 2016. 100 p.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas 1961 a 1990. INMET. Brasília, 1992.
- Leite HG, Andrade VCL (2003). Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. *Revista Árvore*, 27:301-310.
- Magalhães SR, Andrade EA (2009). Teste para verificar a igualdade de modelos de regressão e uma aplicação na área médica. *E-xacta*, 2:34-41.
- Martins RM, Leite MVS, Cabacinha CD, Assis AL de (2015). Teste de identidade de modelos volumétricos para povoamentos de *Eucalyptus* sp. em sete municípios de Minas Gerais. *Enciclopédia Biosfera*, 11:1818-1833.
- Mendonça AR de, Silva GF, Oliveira JTS, Nogueira GS, Assis AL (2007). Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. *Revista Cerne*, 13:71-82.
- Nogueira GS, Leite HG, Reis GG, Moreira AM (2008). Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. *Revista Árvore*, 32:855-860.
- Oliveira HN de, Lôbo RB, Pereira CS (2000). Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35:1843-1851.
- Oliveira MLR, Leite HG, Garcia SLR, Campos JCC, Soares CPB, Santana RC (2009). Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. *Revista Árvore*, 33:133-141.
- Pires LM, Calegario N (2007). Ajuste de modelos estocásticos lineares e não-lineares para a descrição do perfil longitudinal de árvores. *Revista Árvore*, 31:845-852.
- Queiroz D, Machado AS, Figueiredo Filho A, Arce JE, [Koehler HS \(2008\)](#). Identidade de modelos em função de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da Região Metropolitana de Curitiba/PR. *Floresta*, 38:339-350.
- Regazzi AJ (1993). Teste Para Identidade de Modelos de Regressão e Igualdade de Alguns Parâmetros Num Modelo Polinomial Ortogonal. *Revista Ceres*, 40:176-195.
- Regazzi AJ, Silva CHO (2004). Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. dados no delineamento inteiramente casualizado. *Revista de Matemática e Estatística*, 22:33-45.
- Santoro KR, Barbosa SBP, Brasil LH de A, Santos E de S (2005). Estimativas de parâmetros de curvas de crescimento de bovinos Zebu, criados no Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:2262-2279.
- Scolforo JR. *Mensuração Florestal 3: Relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica*. Lavras, ESAL/FAEPE. 1993.
- Schöepfer W (1966). Autimatisierung des Massen, Sorten und Wertberechnung stender Waaldbestande Schriftenreihe Bad. [S.I.]: Wurt-Forstl.
- Schumacher FX, Hall FS (1933). Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*, 47:719-734.
- Silva F de L, Alencar MM de, Freitas AR de, Packer IU, Mourão GB (2011). Curvas de crescimento em vacas de corte de

diferentes tipos biológicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46:262-271.

Souza L de A, Caires DN, Carneiro PLS, Malhado CHM, Martins Filho R (2010). Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado de Sergipe. *Revista Ciência Agronômica*, 41:671-676.

Thomas C, Andrade CM, Schneider PR, Finger CAG (2006). Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, 16:319-327.

Vendruscolo DGS, Silva RS, Souza HS, Chaves AGS, Motta AS (2014). Modelos volumétricos para teca em diferentes espaçamentos em Cáceres, Mato Grosso. *Enciclopédia Biosfera*, 10:1333-1341.

Vendruscolo DGS, Chaves AGS, Silva RS, Souza HS, Medeiros RA, Motta AS, Silva FT (2015). Identidade em Modelos Hipsométricos para *Tectona grandis* com Diferentes Espaçamentos em Cáceres-MT. *Nativa*, 3:44-49.