

**MODELOS VOLUMÉTRICOS AVALIADOS PARA UM PLANTIO  
COMERCIAL DE *Corymbia citriodora* NO SUL DO TOCANTINS.  
VOLUMETRIC MODELS EVALUATED FOR A COMMERCIAL PLANT OF  
*Corymbia citriodora* IN SOUTH OF TOCANTINS**

Valdir Carlos Lima de Andrade<sup>1</sup>, Brenno Cunha Freitas<sup>2</sup>, David Lucas Camargo Vieira  
Terra<sup>3</sup>, Samuel de Pádua Chaves Carvalho<sup>4</sup>



**RESUMO:** O volume do tronco das árvores é uma das informações fundamentais para se avaliar o potencial de produção madeireira nos povoamentos florestais. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar vários modelos volumétricos para *Corymbia citriodora* (Hook) KD Hill & LASS Johnson, utilizando-se dados de 24 árvores cubadas com aplicação da fórmula de Huber para obter o volume real. Na avaliação dos modelos volumétricos, foram adotados os critérios estatísticos: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão residual, distribuição gráfica dos resíduos, média dos desvios absolutos, desvio padrão das diferenças, soma dos quadrados dos resíduos relativos e média dos desvios percentuais. Concluiu-se que o modelo volumétrico de Stoate II foi o mais recomendado para gerar equações separadas de volume com casca e sem casca. Também, se concluiu que este modelo volumétrico, ajustado com a binária  $T_x=0$  para volume com casca e  $T_x=1$  para volume sem casca, mostrou-se ser de viável aplicação em substituição ao ajuste de equações separadas com e sem casca como é feito usualmente, devendo-se atentar em como a variável  $T_x$  é inserida no modelo volumétrico linear.

**PALAVRAS-CHAVE:** Volumetria, cubagem por Huber, biometria florestal.

**ABSTRACT:** The trunk volume of the trees is a fundamental information to evaluate the timber potential production in forest stands. So, this work had a objective evaluate some volumetric models for *Corymbia citriodora* (Hook) KD Hill & LASS Johnson, using data base originated from 24 trees measured by Huber's method. In this case, were adopted that statistical criterial: adjusted coefficient of determination, residual standard error, graphical of residuals, average of absolute deviation, differences of standard deviation, sum of the relative residuals squares, and average of the percentage deviations. The conclusion was that the Stoate II volumetric model was the more recommended to generate separated equations to estimate volume with and without bark. The results showed still that when the Stoate II model was fitted with dummy variable was possible replaced by the separated adjust. So we recommended that strategy for fit linear models.

**KEY WORDS:** Volumetric, Huber approach, forest biometric.

<sup>1</sup> Professor da Universidade Federal do Tocantins, UFT/Gurupi - TO, vclandrade@uft.edu.br, Rua Badejós, Lote 67, Chácaras 69/72, Zona Rural, Gurupi, TO.

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

<sup>3</sup> Engenheiro Florestal, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

<sup>4</sup> Professor da Universidade Federal do Mato Grosso, UFMT/Cuiabá - MT.

Recebido: 01/05/2019

Aceito: 20/10/2019

## INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, a madeira produzida nos plantios florestais vem sendo utilizada para energia, celulose, painéis de madeira, construção civil, serraria, postes, mourões e fabricação de móveis, onde se destacam diferentes clones de eucalipto, porém negligenciando a *Corymbia citriodora* (Hook) KD Hill & LASS Johnson para adquirir tais produtos, apesar de possuir madeira uniforme e adequada a diferentes usos (OLIVEIRA et al., 2005; ARAUJO et al., 2012 e SANTOS et al., 2016).

A maioria dos estudos brasileiros sobre *C. citriodora* são conduzidos quanto às propriedades físicas e mecânicas da madeira, produção de mudas e de madeira tratada (varas, mourões, postes), além da extração de óleos essenciais (OLIVEIRA et al., 2005; ARAUJO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014 e SANTOS et al., 2016). Poucos são àqueles com enfoque na quantificação do volume individual do tronco de árvores (SILVA et al., 1978; MARTINS et al., 2016 e TERRA et al., 2018).

É notório uma certa escassez de conhecimentos sobre a volumetria do *C. citriodora* que, por consequência, pode comprometer seriamente à tomada de decisões quanto ao uso do seu potencial madeireiro. Mesmo porque, dos 7,85

milhões de hectares de plantios florestais brasileiros (IBÁ, 2017), parte se constituem de *C. citriodora*. Por isso, mesmo que pequena área se comparada ao total plantado no país, melhor conhecer a volumetria do *C. citriodora*, resultará em informações mais confiáveis do estoque da madeira, imprescindível para melhor balizar o planejamento da produção e, ou, de definições de estratégias para a comercialização de produtos florestais.

Diante deste contexto, é primordial o emprego de equações volumétricas também nos plantios com *C. citriodora* pois, segundo Guimarães e Leite (1996), é o procedimento mais eficiente para quantificar o volume de madeira. Por isso, inúmeros modelos volumétricos já foram testados em alguns plantios florestais brasileiros, destacando-se: Schumacher e Hall e Spurr (MACHADO et al., 2002; ROCHA et al., 2010 e AZEVEDO et al., 2011). Nesse caso, geralmente, os modelos volumétricos são utilizados de forma à gerar duas equações, separadamente, sendo uma para estimar o volume de madeira com casca e outra para o volume da madeira sem a casca.

Todavia, dada às diferentes situações encontradas nos plantios florestais, se pode defrontar com um grande número de equações volumétricas disponibilizadas para processamento do inventário. Tal

problema, pode ser resolvido a partir do ajuste visando estimar o volume de madeira com e sem casca empregando-se o mesmo modelo volumétrico. Nesse cenário, segundo Andrade et al. (2018), se pode aplicar a metodologia que utiliza variáveis binárias fazendo, no mesmo modelo volumétrico ajustado,  $T_x=0$  para o volume com casca e  $T_x=1$  para o volume sem casca (CAMPOS; LEITE, 2013). Com isso, pode-se gerar uma única equação volumétrica para quantificar tanto o volume de madeira com casca como sem casca por árvore individual, sem gerar duas equações como se faz usualmente.

Portanto, considerando a importância de se quantificar o estoque de madeira em plantios com *C. citriodora*, este trabalho teve o objetivo de avaliar o ajuste de vários modelos volumétricos em um plantio de *C. citriodora* localizado no sul do Tocantins, com enfoque na quantificação do volume total de madeira com e sem casca de árvores individuais.

## MATERIAL E MÉTODOS

Nesse trabalho, utilizou-se dados coletados em um plantio seminal de *C.*

*citriodora* com 5,6 anos de idade. Este plantio, formado no espaçamento inicial de 3,0 x 2,0 m, está localizado próximo ao município de Gurupi, região sul do Tocantins, onde se observam 225 m de altitude com predominância de solos do tipo plintossolo. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical com estação seca, tendo temperatura mínima média anual em torno de 21 °C e máxima média anual de 34 °C, além de média pluviométrica em torno de 1.288 mm/ano (INMET, 2018).

Foram abatidas 24 árvores distribuídas em classes diamétricas com amplitude de 4 cm cada (Tabela 1), o que resultou em 6 indivíduos por classe de diâmetro em conformidade com o número recomendado para eucalipto, entre 5 a 7 indivíduos por classe diamétrica (ANDRADE; LEITE, 2001). Em seguida, na sequência da coleta de dados, procedeu-se a cubagem medindo-se os diâmetros do tronco nas posições: 0,1, 0,2, 0,4, 0,7, 1,3, 2,7 m e, sucessivamente, de 2 em 2 m, até um diâmetro com casca em torno de 3 cm.

**Tabela 1.** Distribuição de frequência de 24 árvores cubadas de *Corymbia citriodora*.

Classe de Diâmetro (cm); min=3,6 e max=17,8	Classe de Altura(m); min=8,3 e max=23,0								Total
	9	11	13	15	17	19	21	23	
$d \leq 5$	3	2	1						6
$5 < d \leq 9$			1	2	2	1			6
$9 < d \leq 13$						3	3		6
$13 < d$					1		2	3	6
Total	3	2	2	2	3	4	5	3	24

d=DAP, min=valor mínimo, max=valor máximo.

Com os dados da cubagem, obteve-se o volume real do fuste pela aplicação sucessiva da fórmula de Huber que, somado ao volume da cepa e do cone, resultou no volume total real do fuste de cada árvore cubada (HUSCH et al., 1982). Em seguida, devido à escassos estudos sobre volumetria de *C. citriodora*, avaliou-se os modelos já

testados por: Machado et al. (2002), Thomas et al. (2006), Rocha et al. (2010), Azevedo et al. (2011), Miguel et al. (2014) e Andrade (2017). Portanto, foram ajustados 5 modelos do tipo local e 27 modelos do tipo regional, quais sejam os seguintes:

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2(1/d) + \varepsilon \text{ (Brenac)} \quad (1),$$

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon \text{ (Husch)} \quad (2),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \varepsilon \text{ (Hohenadl-Krenm)} \quad (3),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(1/d) + \beta_2(1/d)^2 + \varepsilon \text{ (Bonetes I)} \quad (4),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d^2) + \varepsilon \text{ (Kopezky-Gehardt)} \quad (5),$$

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \ln(h) + \varepsilon \text{ (Shumacher e Hall I)} \quad (6),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(h) + \varepsilon \text{ (Shumacher e Hall II)} \quad (7),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \ln(h) + \varepsilon \text{ (Shumacher e Hall III)} \quad (8),$$

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d^2 h) + \varepsilon \text{ (Spurr I)} \quad (9),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1 \ln(d^2 h) + \varepsilon \text{ (Spurr, II)} \quad (10),$$

$$v = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{h}\right)} + \varepsilon \text{ (Honner)} \quad (11),$$

$$v = d^2(\beta_0 + \beta_1(h)) + \varepsilon \text{ (Ogaya)} \quad (12),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d^2) + \beta_2(d^2 h) + \beta_3(h) + \varepsilon \text{ (Stoate I)} \quad (13),$$

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln^2(h) + \beta_2 \ln^2(d) + \beta_3(d^2) + \varepsilon \text{ (Stoate II)} \quad (14),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d^2) + \beta_2(d^2h) + \beta_3(dh^2) + \beta_4(h^2) + \varepsilon \text{ (Naslund I)} \quad (15),$$

$$v = \frac{d^2h}{\beta_0 + \beta_1(d)} + \varepsilon \text{ (Takata I)} \quad (16),$$

$$v = \frac{dh}{\beta_0 + \beta_1(\frac{1}{d})} + \varepsilon \text{ (Takata II)} \quad (17),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \beta_3(dh) + \beta_4(d^2h) + \beta_5(h) + \varepsilon \text{ (Meyer I)} \quad (18),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \beta_3(dh) + \beta_4(d^2h) + \varepsilon \text{ (Meyer II)} \quad (19),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(dh) + \beta_2(d^2h^2) + \beta_3(d^3h^3) + \beta_4(d^4h^4) + \varepsilon \text{ (Meyer III)} \quad (20),$$

$$\text{Ln}(v) = \beta_0 + \beta_1\text{Ln}(d) + \beta_2\text{Ln}^2(d) + \beta_3\text{Ln}(h) + \beta_4\text{Ln}^2(h) + \varepsilon \text{ (I.B.W. Alemanha)} \quad (21),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d^2) + \beta_2\text{Ln}(d^2h) + \beta_3(dh^2) + \beta_4(h^2) + \varepsilon \text{ (Naslund II)} \quad (22),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d^2) + \beta_2(d^2h) + \beta_3(dh^2) + \beta_4(h) + \varepsilon \text{ (Naslund-Spruce I)} \quad (23),$$

$$\text{Ln}(v) = \beta_0 + \beta_1\text{Ln}(d) + \beta_2\text{Ln}(d^2) + \beta_3\text{Ln}(h) + \beta_4\text{Ln}(h^2) + \varepsilon \text{ (Prodan I)} \quad (24),$$

$$\text{Ln}(v) = \beta_0 + \beta_1\text{Ln}(d) + \beta_2\text{Ln}^2(d) + \beta_3\text{Ln}(h) + \beta_4\text{Ln}^2(h) + \varepsilon \text{ (Prodan II)} \quad (25),$$

$$\sqrt{v} = \beta_0 + \beta_1(dh) + \beta_2(dh)^2 + \beta_3(\frac{d}{h})^3 + \beta_4(\frac{d}{h})^4 + \beta_5(dh)^5 + \beta_6(dh)^6 + \varepsilon \text{ (Prodan III)} \quad (26),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(\sqrt{dh}) + \beta_2\left(\frac{1}{d}\right) + \beta_3(d^2) + \varepsilon \text{ (Burkhault I)} \quad (27),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(h^2) + \beta_2(d^2) + \beta_3\left(\frac{1}{d}\right) + \varepsilon \text{ (Burkhault II)} \quad (28),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d^2) + \beta_2(h) + \varepsilon \text{ (Bonetes II)} \quad (29),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d^2) + \beta_2(h^2) + \varepsilon \text{ (Bonetes III)} \quad (30),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(dh^2) + \beta_2(d^2) + \varepsilon \text{ (Ormerod I)} \quad (31),$$

$$v = \beta_0 + \beta_1(d^2h) + \beta_2\left(\frac{1}{\sqrt{d}}\right) + \varepsilon \text{ (Ormerod II)} \quad (32).$$

Em que:  $v$  = volume total obtido por Huber ( $\text{m}^3$ );  $d$  = DAP (diâmetro à altura do peito, em cm);  $h$  = altura total (m);  $\text{Ln}$  = logaritmo neperiano;  $\beta_0$  a  $\beta_6$  = coeficientes de regressão a serem estimados e  $\varepsilon$ =erro aleatório do modelo.

Os 32 modelos volumétricos, conforme critérios estatísticos utilizados por Guimarães e Leite (1996) e Andrade (2017), foram avaliados por meio de um teste de validação com dados dependentes empregando-se a análise da distribuição de resíduos (ADR), erro padrão residual (EPR), coeficiente de determinação

ajustado ( $R^2_{aj}$ ), média dos desvios absolutos (MDA), desvio padrão das diferenças (SD), Soma dos quadrados dos resíduos relativos (SQRR) e média dos desvios percentuais (MDP).

Inicialmente, visando reduzir a grande quantidade de modelos para avaliar com e sem casca, considerou-se os critérios:

ADR, EPR e  $R^2_{aj}$ . Os modelos que se destacaram nesta análise

preliminar, juntamente com os modelos locais 1 a 5, foram avaliados quanto aos critérios: de MDA, SD, SQRR e MDP. Nesta oportunidade, para o ajuste do volume com e sem casca, atribuiu-se a nota 1 ao modelo que apresentou o melhor resultado de MDA, SD, SQRR e MDP, nota 2 ao modelo que se classificou em segundo lugar e, sucessivamente, até a pior colocação. A classificação foi definida pelo menor somatório geral de notas (TGN), resultado da soma das notas (TN) obtidas para volume com e sem casca em cada

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentadas as estatísticas obtidas para cinco modelos volumétricos locais, que resultaram em EPR entre de  $\pm 8,49$  a  $\pm 23,85\%$  para volume com casca e de  $\pm 8,41$  a  $\pm 26,43\%$  para volume sem casca. Os modelos 3 e 5 apresentaram os melhores resultados, com valores de  $R^2_{aj} \geq 0,990$  e  $EPR < \pm 10\%$ . Já, o modelo 4, foi o que apresentou os piores resultados de  $R^2_{aj}$  e EPR e, em terceiro lugar, ficou o modelo 1 com  $R^2_{aj}$  e EPR iguais a  $0,985$  e  $\pm 10,29\%$ , respectivamente, para volume com casca. Para volume sem casca, os três melhores modelos apresentaram  $R^2_{aj} \geq 0,987$  e  $EPR < 10\%$ . Portanto, os modelos 1, 3 e 5 são os modelos

modelo e critério estatístico, separadamente, conforme feito por Thomas et al. (2006) e Andrade (2017).

Como alternativa ao ajuste de modelos volumétricos para as duas situações, com casca e sem casca, aplicou-se a metodologia que utiliza à variável binária  $T_x=0$  para volume com casca e  $T_x=1$  para volume sem casca (CAMPOS; LEITE, 2013). Para esse fim, foi utilizado o modelo volumétrico que mais destacou dentre os 32 modelos volumétricos avaliados neste trabalho.

volumétricos locais que melhor se ajustaram aos dados de *C. citriodora*.

Em trabalhos com eucalipto, Miguel et al. (2014) obtiveram valores de EPR para os modelos 1 e 2 de  $\pm 13,37\%$ , constatando o modelo 3 como o de menor valor de EPR. Também, Leite e Andrade (2003), obtiveram valor semelhante de  $R^2_{aj}$  para o modelo 1 (0,979). Já, Azevedo et al. (2011), obtiveram  $R^2_{aj}$  inferior ao encontrado neste trabalho, com valor de 0,909 para volume total. Por fim, Pereira et al. (2016), obtiveram um valor de EPR de 12,23% para o modelo 5, sendo que, para os modelos 2 e 3, apresentou-se um valor  $\pm 9,33\%$  onde, neste trabalho, pode-se ver que os modelos 3 e 5 apresentaram um melhor ajuste.

**Tabela 2.** Estatísticas obtidas no ajuste de cinco modelos volumétricos locais para *Corymbia citriodora* no Sul do Tocantins.

Modelo	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	R <sup>2</sup> aj	EPR%
<b>Volume com casca:</b>					
1*	-7,1060	2,0820	-4,9980	0,985	10,29
2	-9,0930	2,7010		0,967	15,43
3*	-9,200E-03	-7,648E-04	8,216E-04	0,990	8,67
4	0,3980	-4,1100	10,1740	0,928	23,85
5*	-0,0127	7,872E-04		0,990	8,49
<b>Volume sem casca:</b>					
1*	-8,0030	2,3060	-3,6490	0,987	9,91
2	-9,4540	2,7570		0,977	13,32
3*	1,058E-03	-2,993E-03	7,925E-04	0,992	8,41
4	0,3313	-3,4592	8,6252	0,916	26,43
5*	-0,0128	6,579E-04		0,990	8,74

\*= modelo selecionado,  $\beta_0$  à  $\beta_6$ =coeficientes de regressão à serem estimados, R<sup>2</sup>aj=coeficiente de determinação ajustado, EPR%=erro padrão residual.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos dez modelos volumétricos regionais que mais se destacaram quanto ADR, EPR e R<sup>2</sup>aj. Nota-se que os valores de EPR variaram de  $\pm 5,69$  a  $\pm 7,81\%$  para volume com casca e de  $\pm 5,41$  a  $\pm 7,43\%$  para volume sem casca. Tanto para estimação volumétrica com casca, como para sem casca, o maior valor de R<sup>2</sup>aj foi constatado no modelo 26 (0,997), sendo 0,993 o menor valor para os modelos 13 e 14.

Todavia, como os resultados de R<sup>2</sup>aj ficaram acima de 0,990 (Tabela 3), este critério não se considerou ser conclusivo para contribuir no destaque dentre algum dos dez modelos volumétricos previamente selecionados. Assim, considerando-se o EPR, na sequência de importância do melhor para o pior modelo para volume com

casca, destacaram-se os modelos: 26, 23, 15, 14 e 18 com respectivos valores de  $\pm 5,69\%$ ,  $\pm 6,70\%$ ,  $\pm 6,76\%$ ,  $\pm 6,77\%$  e  $\pm 6,85\%$ . Já, para volume sem casca, destacaram-se os modelos: 26, 22, 28, 19 e 15, com respectivos valores de  $\pm 5,41\%$ ,  $\pm 6,74\%$ ,  $\pm 6,76\%$ ,  $\pm 6,82\%$  e  $\pm 6,85\%$ .

De forma geral, nesta análise preliminar, os modelos volumétricos regionais foram superiores aos modelos volumétricos locais. Tal superioridade, se deve ao fato desses tipo de modelos volumétricos serem ajustados em função do diâmetro e altura, representando melhor as características do povoamento amostrado em relação aos modelos volumétricos locais, os quais são ajustados somente em função do diâmetro da árvore (LEITE; ANDRADE, 2003; ROLIM et al., 2006; AZEVEDO et al., 2011).

**Tabela 3.** Estatísticas obtidas no ajuste de dez melhores modelos volumétricos regionais para *Corymbia citriodora* no Sul do Tocantins.

Md	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	R <sup>2</sup> aj	EPR
<b>Volume com casca:</b>									
13	-0,0136	4,438E-04	1,455E-05	5,860E-04	-	-	-	0,993	7,81
14*	-7,5201	0,1452	0,7911	-5,986E-03	-	-	-	0,994	6,77
15		8,361E-04	-3,419E-05	3,781E-05	-2,380E-04	-	-	0,994	6,76
18	0,0829	-0,0246	1,569E-03	1,527E-03	-5,480E-05	-5,568E-03	-	0,995	6,85
19	0,0560	-0,0288	1,973E-03	1,119E-03	-5,300E-05	-	-	0,994	7,15
22*	0,0427	7,395E-04	-0,0125	1,217E-06	1,308E-04	-	-	0,994	7,31
23*	0,0351	9,577E-04	-3,908E-05	3,460E-05	-5,816E-03	-	-	0,995	6,70
26*	0,0129	1,490E-03	-7,750E-07	-0,0445	0,1199	1,167E-14	-3,740E-17	0,997	5,69
27	-0,0828	1,166E-03	0,2276	6,327E-04	-	-	-	0,994	7,09
28	-0,0603	1,250E-04	7,248E-04	0,1729	-	-	-	0,994	7,10
<b>Volume sem casca:</b>									
13	-4,120E-03	2,986E-04	1,660E-05	-1,864E-04	-	-	-	0,994	7,21
14*	-7,8441	0,1750	0,7431	-5,102E-03	-	-	-	0,993	7,43
15		4,824E-04	-7,295E-06	1,924E-05	-1,400E-04	-	-	0,995	6,85
18	0,0536	-0,0190	1,255E-03	9,027E-04	-3,120E-05	-2,321E-03	-	0,995	6,87
19	0,0424	-0,0207	1,424E-03	7,326E-04	-3,050E-05	-	-	0,995	6,82
22*	0,0551	6,581E-04	-0,0144	7,146E-07	1,209E-04	-	-	0,995	6,74
23*	0,0205	5,583E-04	-1,050E-05	1,748E-05	-3,421E-03	-	-	0,995	6,87
26*	0,0162	1,378E-03	-8,436E-07	-0,1844	0,2486	2,380E-14	-5,980E-17	0,997	5,41
27	-0,0750	8,913E-04	0,2200	5,636E-04	-	-	-	0,994	6,94
28	-0,0594	1,008E-04	6,306E-04	0,1837	-	-	-	0,995	6,76

Md=número do modelo, \*=modelos selecionados,  $\beta_0$  à  $\beta_6$ =coeficientes de regressão estimados, R<sup>2</sup>aj=coeficiente de determinação ajustado, EPR=erro padrão residual (%).

A Tabela 4 apresenta os resultados de MDA, SD, SQRR e MDP, obtidos para os 3 melhores modelos volumétricos locais e os 10 melhores modelos volumétricos regionais, além da classificação destes quanto à nota de classificação geral (TGN) que englobou os resultados de volume com e sem casca. Com base nesta nota TGN, constata-se que o melhor modelo local foi o 1 e que os modelos regionais 14, 22, 23 e 26 foram os que mais se destacaram dentre os demais modelos volumétricos.

Nas Figuras 1 e 2, é apresentada a distribuição de resíduos para os quatro melhores modelos volumétricos destacados na Tabela 4. Observa-se que os modelos 22 (Naslund II) e 23 (Naslund-Spruce I) apresentaram-se de forma inadequada com maior dispersão e desequilíbrio ao longo do eixo 0% de erro que os modelos 14 (Stoate II) e 26 (Prodan III). Dentre estes, o modelo 14 apresentou uma distribuição de resíduos mais uniforme e equilibrada. Portanto, o modelo volumétrico 14, do tipo regional, foi



o que melhor se ajustou aos dados de *C. citriodora* na situação amostrada no Sul do Tocantins. Nesse caso, ao plicar os coeficientes estimados (Tabela 3), gera-se

uma equação para volume com casca ( $\hat{v}_{cc}$ ) e outra para volume sem a casca ( $\hat{v}_{sc}$ ), quais sejam as seguintes equações volumétricas regionais 14cc e 14sc:

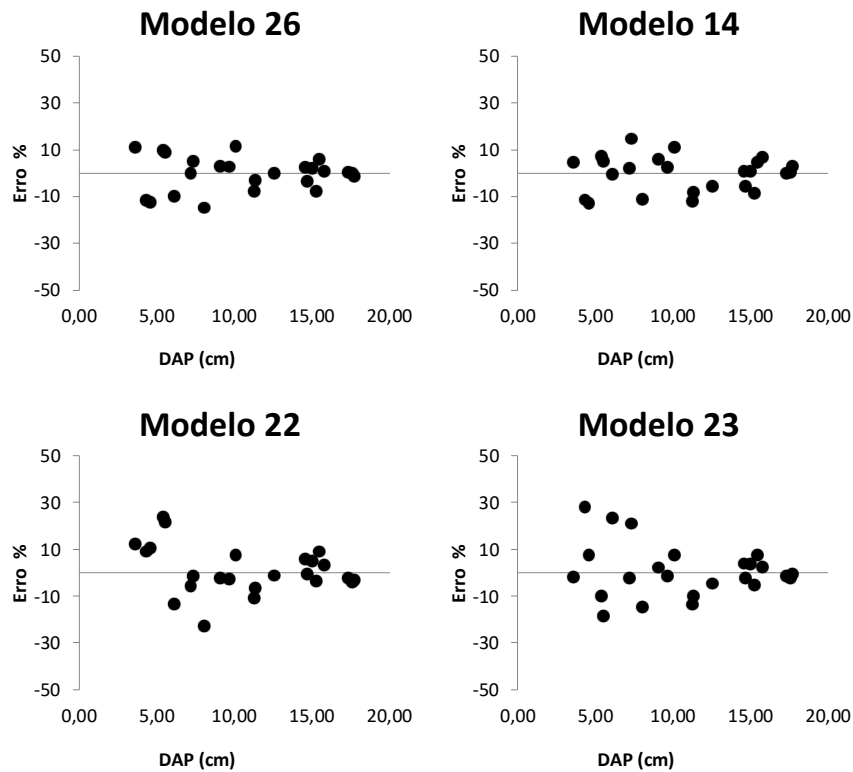
$$\hat{v}_{cc} = e^{[-7,520+0,145\ln^2(h)+0,791\ln^2(d)-0,005986(d^2)]}; (R^2_{aj}=0,994 \text{ e } EPR=\pm 6,77\%) \quad (14cc)$$

$$\hat{v}_{sc} = e^{[-7,844+0,175\ln^2(h)+0,743\ln^2(d)-0,005102(d^2)]}; (R^2_{aj}=0,993 \text{ e } EPR=\pm 7,43\%) \quad (14sc)$$

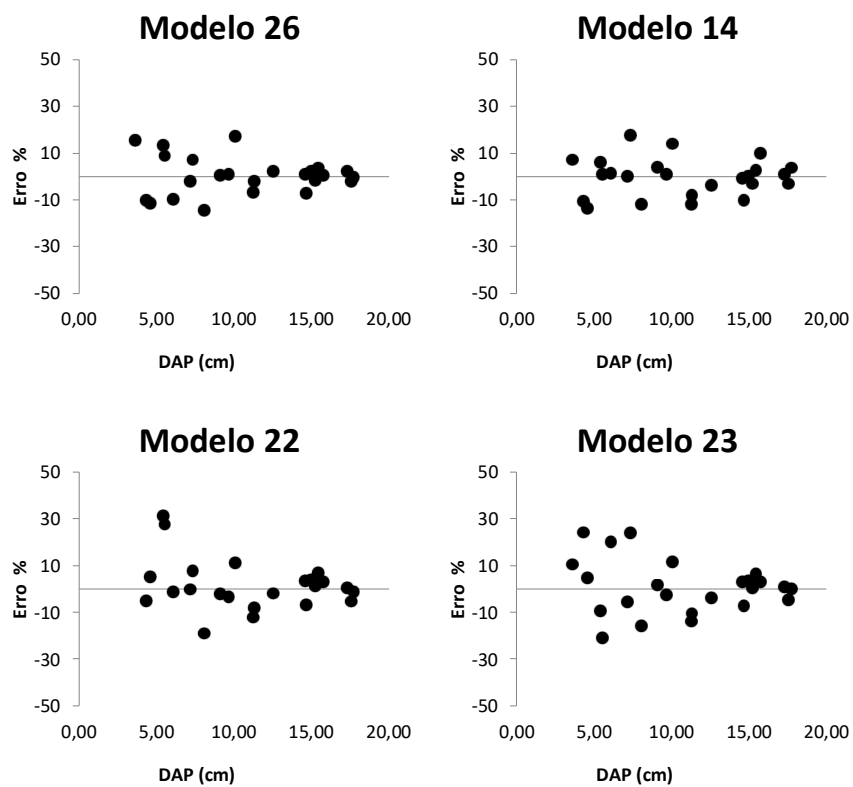
**Tabela 4.** Estatísticas utilizadas para classificação dos modelos volumétricos, previamente selecionados para *Corymbia citriodora* no Sul do Tocantins.

Modelo	MDA	SD	SQRR	MDP	TN	TGN
<b>Volume com casca:</b>						
1	-0,00028 <sup>6</sup>	0,00936 <sup>11</sup>	0,222 <sup>3</sup>	-0,35 <sup>3</sup>	23	49
3	0,00000 <sup>1</sup>	0,00793 <sup>9</sup>	2,110 <sup>11</sup>	5,17 <sup>9</sup>	30	58
5	0,22331 <sup>7</sup>	0,00795 <sup>10</sup>	3,296 <sup>13</sup>	7,77 <sup>12</sup>	42	81
13	0,00001 <sup>2</sup>	0,00698 <sup>8</sup>	2,166 <sup>12</sup>	5,45 <sup>10</sup>	32	62
14	-0,00001 <sup>2</sup>	0,00604 <sup>4</sup>	0,132 <sup>2</sup>	-0,27 <sup>2</sup>	10	25
15	0,00012 <sup>6</sup>	0,00604 <sup>4</sup>	1,331 <sup>9</sup>	6,18 <sup>11</sup>	30	61
18	0,00006 <sup>5</sup>	0,00580 <sup>2</sup>	1,644 <sup>10</sup>	-2,56 <sup>8</sup>	25	49
19	-0,00004 <sup>4</sup>	0,00621 <sup>5</sup>	1,056 <sup>7</sup>	0,64 <sup>5</sup>	21	44
22	-0,00001 <sup>2</sup>	0,00637 <sup>7</sup>	0,255 <sup>4</sup>	1,28 <sup>7</sup>	20	33
23	-0,00002 <sup>3</sup>	0,00583 <sup>3</sup>	0,301 <sup>5</sup>	0,93 <sup>6</sup>	17	34
26	0,00001 <sup>2</sup>	0,00469 <sup>1</sup>	0,126 <sup>1</sup>	-0,36 <sup>4</sup>	8	16
27	0,00001 <sup>2</sup>	0,00633 <sup>5</sup>	1,123 <sup>8</sup>	-0,36 <sup>4</sup>	19	49
28	0,00001 <sup>2</sup>	0,00634 <sup>6</sup>	0,670 <sup>6</sup>	0,22 <sup>1</sup>	15	40
<b>Volume sem casca:</b>						
1	-0,00044 <sup>7</sup>	0,00740 <sup>13</sup>	0,266 <sup>3</sup>	-0,67 <sup>3</sup>	26	-
3	0,00000 <sup>1</sup>	0,00626 <sup>11</sup>	0,873 <sup>6</sup>	2,50 <sup>10</sup>	28	-
5	0,00000 <sup>1</sup>	0,00666 <sup>12</sup>	7,667 <sup>13</sup>	15,55 <sup>13</sup>	39	-
13	0,00000 <sup>1</sup>	0,00524 <sup>9</sup>	1,220 <sup>9</sup>	3,83 <sup>11</sup>	30	-
14	0,00001 <sup>2</sup>	0,00540 <sup>10</sup>	0,155 <sup>2</sup>	-0,32 <sup>1</sup>	15	-
15	0,00007 <sup>5</sup>	0,00498 <sup>7</sup>	0,951 <sup>7</sup>	4,35 <sup>12</sup>	31	-
18	0,00002 <sup>3</sup>	0,00472 <sup>2</sup>	1,413 <sup>10</sup>	-2,41 <sup>9</sup>	24	-
19	-0,00008 <sup>6</sup>	0,00481 <sup>4</sup>	1,079 <sup>8</sup>	-0,76 <sup>5</sup>	23	-
22	0,00000 <sup>1</sup>	0,00477 <sup>3</sup>	0,586 <sup>5</sup>	-0,73 <sup>4</sup>	13	-
23	-0,00001 <sup>2</sup>	0,00486 <sup>5</sup>	0,310 <sup>4</sup>	0,86 <sup>6</sup>	17	-
26	0,00005 <sup>4</sup>	0,00362 <sup>1</sup>	0,151 <sup>1</sup>	-0,33 <sup>2</sup>	8	-
27	0,00001 <sup>2</sup>	0,00504 <sup>8</sup>	2,733 <sup>12</sup>	-1,68 <sup>8</sup>	30	-
28	0,00000 <sup>1</sup>	0,00491 <sup>6</sup>	2,056 <sup>11</sup>	-1,21 <sup>7</sup>	25	-

MDA=média das diferenças absolutas (m<sup>3</sup>), SD=desvio padrão das diferenças (m<sup>3</sup>), SQRR=somatório de quadrado dos resíduos relativos em (m<sup>3</sup>), MDP=média dos resíduos percentuais (%), TN = total das notas e TGN = total geral das notas para volume com casca e sem casca. Valores dos expoentes são notas de cada modelo.



**Figura 1.** Resíduos dos melhores modelos volumétricos com casca para *C. citriodora* no sul do Tocantins.



**Figura 2.** Resíduos dos melhores modelos volumétricos sem casca para *C. citriodora* no sul do Tocantins.

Na utilização da variável binária  $T_x=0$  para o volume com casca e  $T_x=1$  para volume sem casca, visando-se quantificar o volume com e sem casca em árvores individuais empregando-se a mesma equação volumétrica gerada a partir do

$$\hat{v} = e^{[-7,566+0,160 \ln^2(h)+0,767 \ln^2(d)-0,005(d^2)-0,233 T_x]}; (R^2_{aj}=0,992; \text{EPR}=\pm 7,44\%) \quad (Tx1)$$

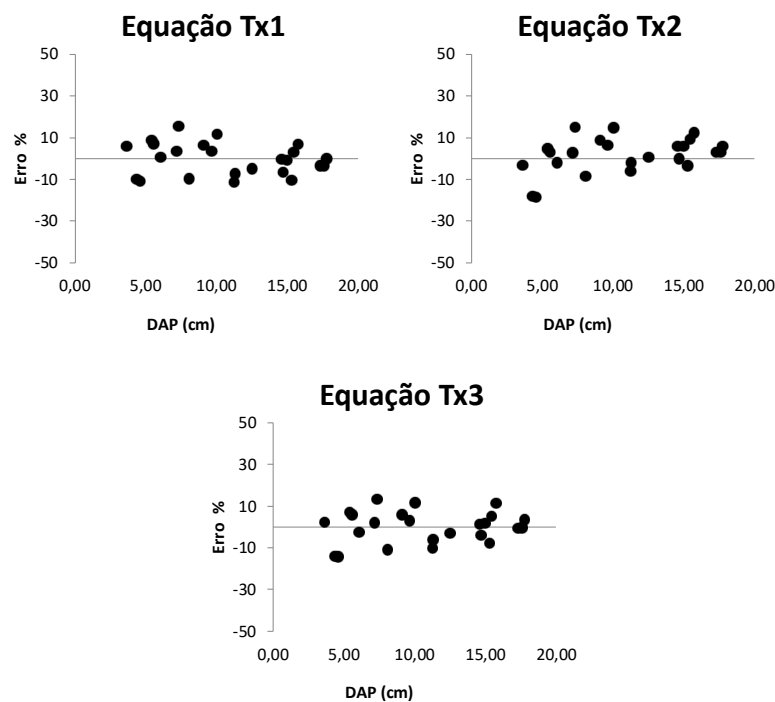
$$\hat{v} = e^{[-7,391+0,156 \ln^2(h)+0,725 \ln^2(d)-0,005(d^2)-1,656 T_x(\frac{1}{d})]}; (R^2_{aj}=0,989; \text{EPR}=\pm 8,97\%) \quad (Tx2)$$

$$\hat{v} = e^{[-7,559+0,177 \ln^2(h)+0,736 \ln^2(d)-0,005(d^2)-0,136 T_x(\frac{h}{d})]}; (R^2_{aj}=0,993; \text{EPR}=\pm 7,10\%) \quad (Tx3)$$

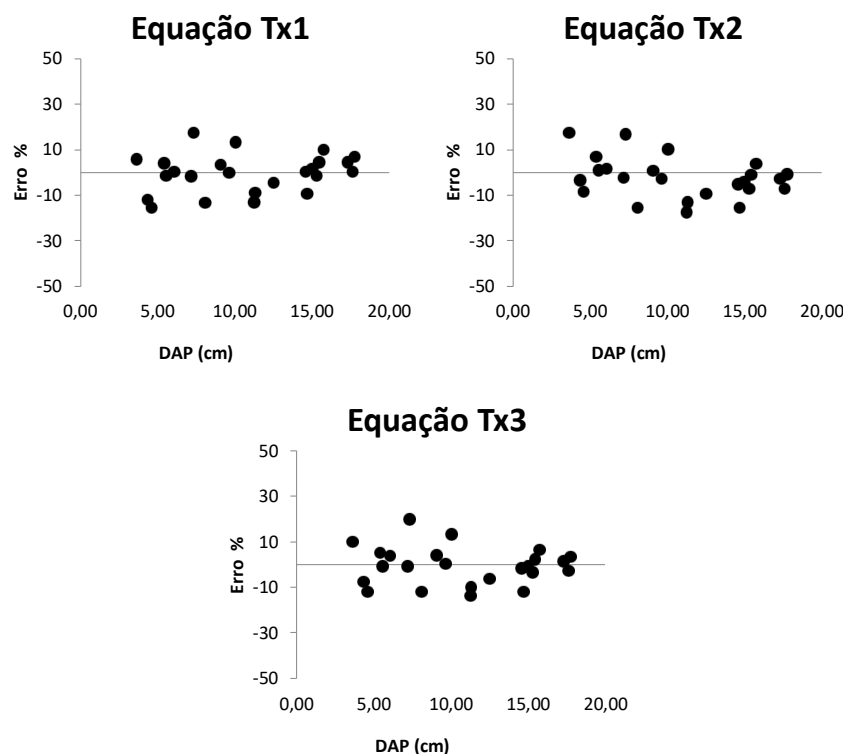
Dentre as equações Tx1, Tx2 e Tx3, a equação Tx2 foi a pior por apresentar uma distribuição de resíduos tendenciosa para árvores com diâmetro menor que 6 cm e maior que 11 cm (Figuras 3 e 4), além de piores  $R^2_{aj}$  e EPR com valores de 0,989 e  $\pm 8,97\%$ , respectivamente. Aliado a estes

modelo 14, foram avaliadas três possibilidades de inclusão desta variável  $T_x$ , quais sejam:  $T_x$ ,  $T_x(\frac{1}{d})$  e  $T_x(\frac{h}{d})$ . Como resultado, se obteve as seguintes equações volumétricas Tx1, Tx2 e Tx3:

resultados, a Tabela 5 mostra que a equação Tx2 resultou, também, nos piores valores de MDA, SD, SQRR e MDP, que refletiram na sua classificação em último lugar (TGN=31) para quantificar, com a mesma equação volumétrica, o volume com e sem casca de *C. citriodora*.



**Figura 3.** Resíduos para as equações Tx1, Tx2 e Tx3 para *C. citriodora* com casca no sul do Tocantins.



**Figura 4.** Resíduos para as equações Tx1, Tx2 e Tx3 para *C. citriodora* sem casca no sul do Tocantins.

**Tabela 5.** Estatísticas utilizadas para classificação das equações volumétricas utilizando a variável Tx comparada com a que foi gerada a partir do modelo 14

Equação	MDA	SD	SQRR	MDP	TN	TGN
<b>Volume com casca:</b>						
14cc	-0,00001 <sup>1</sup>	0,00604 <sup>1</sup>	0,132 <sup>1</sup>	-0,28 <sup>2</sup>	5	13
Tx1; Tx=0	-0,00128 <sup>3</sup>	0,00637 <sup>2</sup>	0,136 <sup>2</sup>	-0,28 <sup>2</sup>	9	20
Tx2; Tx=0	0,00397 <sup>4</sup>	0,00697 <sup>4</sup>	0,178 <sup>4</sup>	1,64 <sup>3</sup>	15	31
Tx3; Tx=0	0,00076 <sup>2</sup>	0,00650 <sup>3</sup>	0,138 <sup>3</sup>	0,01 <sup>1</sup>	9	17
<b>Volume sem casca:</b>						
14sc	0,00002 <sup>1</sup>	0,00540 <sup>2</sup>	0,155 <sup>1</sup>	-0,31 <sup>1</sup>	5	-
Tx1; Tx=1	0,00104 <sup>3</sup>	0,00587 <sup>3</sup>	0,165 <sup>3</sup>	-0,34 <sup>2</sup>	11	-
Tx2; Tx=1	-0,00334 <sup>4</sup>	0,00607 <sup>4</sup>	0,206 <sup>4</sup>	-2,44 <sup>4</sup>	16	-
Tx3; Tx=1	-0,00063 <sup>2</sup>	0,00526 <sup>1</sup>	0,163 <sup>2</sup>	-0,62 <sup>3</sup>	8	-

Onde: MDA=média das diferenças absolutas (m<sup>3</sup>), SD=desvio padrão das diferenças (m<sup>3</sup>), SQRR=somatório de quadrado dos resíduos relativos em (m<sup>3</sup>), MDP=média dos resíduos percentuais (%), TN = total das notas e TGN= total geral das notas para volume com casca e sem casca. Valores dos expoentes são notas de cada modelo.

Embora a equação Tx1 tenha equilibrada e homogênea ao longo do eixo apresentado uma distribuição de resíduos 0% de erro (Figuras 3 e 4), nota-se que não

foi suficiente para superar a equação Tx3, principalmente, por esta última equação ter apresentado uma distribuição de resíduos mais equilibrada e uniforme ao longo do eixo 0% de erro para árvores com DAP maior que 15 cm. Essa análise, além de ser complementada pelo menor EPR ( $\pm 7,1\%$ ), é confirmada pela Tabela 5 que apresentou a menor nota TGN de 17 pontos.

Os critérios estatísticos MDA, SD, SQRR e MDP, dentre as equações geradas a partir modelo 14 (14cc e 14sc), mostram uma tendência de elevação dos valores obtidos com a utilização da variável Tx (Tx1, Tx2 e Tx3), o que pode ser constatado pelo maior TGN destas equações. Entretanto, vale-se ressaltar a importância desta metodologia, uma vez que tal elevação não compromete os resultados da estimativa volumétrica.

Em comparação com o modelo 14 sem Tx (14cc e 14sc), a equação Tx3 apresenta os valores mais próximos desta, chegando até mesmo a superá-la como observado em MDP para ajuste com casca (14cc *versus* Tx3 com Tx=0), e SD para o ajuste sem casca (14sc *versus* Tx3 com Tx=1). Além disso, nota-se que há muita semelhança na distribuição de resíduos entre usar a variável Tx, representada pela única equação Tx3 (Figuras 3 e 4) e não usar a variável Tx, aqui representada pelas duas

equações 14cc e 14sc, geradas a partir do modelo 14 (Figuras 1 e 2), respectivamente.

Diante disso, aplicando-se uma equação para quantificar, tanto o volume com casca como o volume sem casca, se deve levar em conta que a equação Tx3 também apresenta a melhor forma de se incluir a variável Tx em modelos volumétricos lineares para *C. citriodora*. Nota-se isso, com o uso da razão  $\left(\frac{h}{d}\right)$  que conferiu melhor caracterização do volume de casca por árvore utilizando  $-0,136\left(\frac{h}{d}\right)$ , pois, para obter o volume de madeira sem a casca, se faz Tx=1 na mesma equação Tx3. Diferentemente do que se faz usualmente, onde se emprega uma equação para o volume com casca ( $\hat{v}_{cc}$ ) e outra para volume sem a casca ( $\hat{v}_{sc}$ ), por exemplo, conforme se obteve as equações volumétricas 14cc e 14sc.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que, dentre os modelos volumétricos locais, o modelo 1 (Brenac) foi o melhor e que, dentre o total de 32 modelos avaliados, o modelo volumétrico regional 14 (Stoate II) sobressaiu-se como o de melhor desempenho, tanto para volume com casca como para volume sem casca, em cujo critério ADR contribuiu na decisão por este modelo.

Constatou-se, de forma geral, a expressiva superioridade dos modelos

volumétricos regionais em relação aos modelos volumétricos locais. Também, pôde-se concluir que o uso da variável binária “Tx” mostrou-se ser de viável aplicação em substituição ao ajuste de equações separadas com e sem casca como é feito usualmente, devendo-se atentar em

$\hat{v} = e^{[-7,559+0,177 \ln^2(h)+0,736 \ln^2(d)-0,005(d^2)-0,136 T_x(\frac{h}{d})]}$ ; com Tx=0 para volume com casca e Tx=1 para volume de madeira sem a casca.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, V. C. L.; GLORIA JUNIOR, M. A.; TERRA, D. L. C. V. Equações volumétricas para um clone jovem de eucalipto no Sul do Tocantins. **Nativa**, Sinop, v. 6, nº. especial, p.7 95-801, 2018.
- ANDRADE, V. C. L. Modelos volumétricos de dupla entrada para aplicar em povoamentos florestais brasileiros. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, 24: ed. 24: e00135415, 2017.
- ANDRADE, V. C. L.; LEITE, H. G. Uso da geometria analítica para descrever o taper e quantificar o volume de árvores individuais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 481-486, 2001.
- ARAUJO, H. J. B.; MAGALHÃES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 49-58, 2012.
- AZEVEDO, G. B.; SOUSA, G. T. O.; BARRETO, P. A. B.; CONCEIÇÃO JÚNIOR, V. Estimativas volumétricas em povoamentos de Eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 309-318, 2011.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4 ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 605p.
- GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia**

como a variável Tx será inserida no modelo volumétrico linear.

Dentre as três diferentes formas de uso da variável Tx em modelos volumétricos regionais, a equação Tx3 foi a que apresentou o melhor desempenho para *C. citriodora* no Sul do Tocantins, qual seja, a seguinte:

- Forestalis**, Piracicaba, n. 50, p. 37-42, 1996.
- HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. E. **Forest mensuration**. 3 ed. New York: Ronald Press, 1982. 402p.
- IBÁ – **Indústria Brasileira de Árvores**. Relatório ibá 2017 ano base 2016.
- INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia**. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). INMET. Brasília, 2018.
- LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n.3, p. 301-310, 2003.
- 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 Unicentro**, Guarapuava, v. 4, n.2, p. 185-197, 2002.
- MARTINS, A. P. M.; CARVALHO, D. E.; SCHMIDT, L. N.; GORENSTEIN, M. R.; CYSNEIROS, V. C. Eficiência de métodos para estimativa do volume total de *Corymbia citriodora*. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 2, p. 178-184. 2016.
- MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ONO, H. A.; LEAL, U. A. S. Modelagem na predição do volume individual em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 584-598, 2014.
- OLIVEIRA, K. F.; SOUZA, A. M.; SOUZA, G. T. O.; COSTA, A. L. M.; FREITAS, M. L. M. Estabelecimento de mudas de *Eucalyptus spp.* e *Corymbia citriodora* em diferentes substratos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 1, p. 30-36, 2014.
- OLIVEIRA, J.T.S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.
- PEREIRA, A. R. S.; CORDEIRO, M. A.; ABREU, J. C.; SANTOS, R. O.; SILVA, N. J. M. Modelagem volumétrica para *Eucalyptus urograndis* no Município de Porto Grande, Amapá, Brasil. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 6, n. 4, p. 10-14, 2016.
- 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, n. 10, p. 1-13, 2010.
- 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**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 107-114, 2006.
- SANTOS, P. V. S.; SILVA, M. A.; DIAS JUNIOR, A. F.; CARVALHO, A. M.; NASCIMENTO, A. M. Qualidade tecnológica da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson submetida ao processo de termorreificação. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 343-350. 2016.
- SILVA, J. A. A.; PAULA NETO, F.; BRANDI, R. M.; CONDÉ, A. R. Análise de modelos volumétricos para construção de tabelas de volume comercial de *Eucalyptus spp.*, segundo a espécie, a região e os métodos de regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 86-99, 1978.
- TERRA, D. L. C. V.; ANDRADE, V. C. L.; FREITAS, B. C. Identidade de modelos volumétrico e de afileamento para *Corymbia citriodora*. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 5, n. 1, p. 269-274. 2018.
- 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**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.