



Equações hipsométricas para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* no cerrado tocantinense

Valdir Carlos Lima de Andrade ^{1,*} e Victor Braga Rodrigues Duarte ²

¹ Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO, Brasil.

² Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Gurupi, TO, Brasil.

* Autor Correspondente: vclandradeuft@gmail.com

Recebido: 21/09/2019; Aceito: 11/03/2020

Resumo: O objetivo deste trabalho foi testar equações hipsométricas para um plantio com 46,7 meses de idade do clone híbrido *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus camaldulensis* (VM01) localizado no Tocantins. Os dados utilizados foram obtidos por meio de um inventário florestal com 17 parcelas retangulares de 348 m² cada. As equações hipsométricas geradas foram analisadas quanto aos critérios estatísticos: significância das estimativas dos coeficientes de regressão pelo teste *t* de *student*; pressuposições da regressão pelos testes de Kolomogorov-Smirnov, Breusch-Pagan e Durbin-Watson; multicolinearidade considerando o valor de inflação de variância; coeficiente de determinação ajustado; erro padrão residual e gráfico de resíduos. Também, por meio de um delineamento inteiramente casualizado, seguido do teste de Scott-Knott, se pode detectar grupos de parcelas similares para definir classes de altura dominante (CHd), nas quais, aplicando-se um teste de identidade de modelos, se avaliou a necessidade do ajuste de equações hipsométricas, ou, por CHd, ou, utilizando-se todos os dados. Concluiu-se que os modelos de melhor desempenho foram os das formas funcionais: $\frac{D}{\sqrt{H}} = f\left(\frac{1}{D}; D^2\right)$ e $\frac{D}{\sqrt{H}} = f\left[\text{Ln}(\text{Hd}); \left(\frac{D}{\text{Hd}}\right)\right]$, sem a necessidade de separar os dados por CHd. Também, pelo teste de qui-quadrado, se pode concluir que a inclusão da variável Hd não influenciou o nível de acurácia de equações hipsométricas para o clone VM01.

Palavras-chave: Biometria florestal; eucalipto; regressão linear; testes estatísticos.

Hypsometric equations for a hybrid between *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* in the tocantinense cerrado

Abstract: The objective of this study was to test hypsometric equations for a 46,7 month old planting of the hybrid clone *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus camaldulensis* (VM01) located in Tocantins. The data used were obtained through a forest inventory with 17 rectangular plots of 348 m² each. The generated hypsometric equations were analyzed according to the statistical criteria: significance of regression coefficient estimates by student's t-test; regression assumptions by the Kolomogorov-Smirnov, Breusch-Pagan, and Darbin-Watson tests; multicollinearity considering the variance inflation value; adjusted determination coefficient; residual standard error and residual plot. Also, through a completely randomized design, followed by the Scott-Knott test, groups of similar plots can be detected to define dominant height classes (CHd), in which, by applying a model identity test, the need for the adjustment of hypsometric equations was evaluated, either by CHd, or using all data. It was concluded that the best performing models were the functional forms: $\frac{D}{\sqrt{H}} = f\left(\frac{1}{D}; D^2\right)$ and $\frac{D}{\sqrt{H}} = f\left[\text{Ln}(\text{Hd}); \left(\frac{D}{\text{Hd}}\right)\right]$, without the need to separate data by CHd. Also, by the chi-square test, it can be concluded that the inclusion of the variable Hd did not influence the accuracy level of hypsometric equations for clone VM01.

Key-words: forest biometrics; eucalyptus; linear regression; statistical tests

1. INTRODUÇÃO

Embora a altura das árvores tenha grande utilidade na classificação da capacidade produtiva e análise da estrutura vertical de uma floresta, um dos seus usos mais importantes pode ser destacado quanto ao emprego em equações volumétricas regionais, ou, de taper. Nesse caso, é necessário medir a altura das árvores que compõem a

amostra do inventário florestal que, devido às dificuldades técnicas-operacionais, resulta em um dispendioso tempo na sua obtenção representando significativa parte no custo total do inventário. Nesse caso, se recomenda empregar um hipsômetro na medição da altura de apenas parte das árvores e, para a estimar a altura das demais árvores em que não se mediu esta variável com um hipsômetro, é mais apropriado utilizar uma equação hipsométrica (AZEVEDO et al., 1999; LEITE & ANDRADE, 2003; NETO et al., 2010; RIBEIRO et al., 2010; MIRANDA et al., 2014; MIGUEL et al., 2018). Portanto, o emprego de equações hipsométricas é um aspecto importante a ser considerado no planejamento dos inventários florestais.

Por outro lado, no emprego de uma equação hipsométrica, alguns cuidados devem ser tomados a fim de evitar erros grosseiros de sua estimação e, também, da altura das árvores. Por exemplo, desconsiderar as pressuposições da análise de regressão quanto a normalidade, homocedasticidade e independência de resíduos, resultará em uma equação hipsométrica com estimativa tendenciosa de seus coeficientes de regressão. Também, desconsiderar o fato de nem sempre uma mesma equação hipsométrica se ajustar adequadamente a todas as diferentes condições inventariadas, pode fazer com que o erro na estimativa da altura das árvores aumente o *viés* do inventário na quantificação do volume de madeira, seja pelo uso em modelos volumétricos regionais e, ou, de taper. Por isso, várias relações entre a altura das árvores e seu diâmetro foram estudados em diferentes cenários proporcionados por plantios florestais brasileiros.

Nesse sentido, se pode referenciar os trabalhos de Rossi et al. (2011) e Stolle et al. (2018) que trabalharam com Teca e Mogno Africano nos estados do Pará (PA) e Mato Grosso do Sul (MS), respectivamente. Araújo et al. (2012) e Alves et al. (2017) que utilizaram dados de Candeia e Cedro Australiano em Minas Gerais (MG). Também, Miranda et al. (2014), Souza et al. (2017) e Miguel et al. (2018), que avaliaram equações hipsométricas para o híbrido *ucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (urograndis) nos estados da Bahia (BA), PA e MS. Ainda, se pode considerar Neto et al. (2010) que trabalharam com *Eucalyptus cloeziana* e *urograndis* no Distrito Federal (DF). Para exemplificar, se observa nos trabalhos Miguel et al. (2018) no MS e Souza et al. (2017) no PA, onde houve destaque para equações hipsométricas geradas por diferentes relações entre altura (H) e diâmetro (D) das árvores, sendo: $\text{Ln}(H) = f\left(\frac{1}{D}\right)$ e $\sqrt{\left(\frac{D}{H}\right)} = f(D)$, com Ln sendo o logaritmo neperiano; provavelmente, por se tratar de dados coletados em diferentes regiões (MS e PA), idades (3 e 8 anos) e espaçamentos de plantio (3 X 2,5 m e 3 X 3 m).

O exposto acima se repetiu nos trabalhos de Oliveira et al. (2011) e Souza et al. (2013), nos quais se evidenciou melhor performance para as relações: $\left(\frac{D}{\sqrt{H}}\right) = f\left(\frac{1}{D}\right)$ e $(H) = f(\text{Ln}D)$; provavelmente por haver diferentes espaçamentos de plantio e idades, apesar de serem dados de mesma espécie (*E. urophylla*) e coletados na mesma região, isto é, no estado BA. Já, nos trabalhos de Miguel et al. (2018) e de Stole et al. (2018), houve destaque da mesma relação: $\text{Ln}(H) = f\left(\frac{1}{D}\right)$ que gerou equações hipsométricas diferentes; provavelmente, por terem sido coletados dados em diferentes espaçamentos de plantio e, principalmente, em espécies diferentes (*E. urograndis* e *Khaya inorensis*), apesar de localizar no mesmo estado do Brasil, no MS e terem mesma idade de três anos. Portanto, para cada situação inventariada, se deve averiguar a equação hipsométrica que melhor se adequa aos plantios florestais.

Diante desse contexto, se observa incipientes trabalhos sobre equações hipsométricas em plantios feitos no cerrado, principalmente, para o clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus camaldulensis* (VM01). Por isso, se realizou este trabalho com o objetivo de testar equações hipsométricas para o clone VM01 em um plantio localizado no cerrado tocantinense.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados para emprego no ajuste de equações hipsométricas advieram de um inventário florestal feito em 100 ha de um plantio comercial do híbrido entre *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus camaldulensis* (VM01) localizado no cerrado tocantinense, próximo ao município de Gurupi-TO (Figura 1), o qual, na época da coleta dos dados, tinha 46,7 meses de idade. Neste inventário, foi utilizado o método de área fixa constituído de 17 parcelas retangulares de 24,0 m x 14,5 m cada (348 m²), as quais foram distribuídas no plantio adotando-se o procedimento de amostragem sistemático.

As medições foram feitas tomando-se o diâmetro situado à 1,30 m do terreno (D) em todas as árvores com valor maior ou igual a 3,0 cm. Também, além da altura total das oito primeiras árvores (H), mediu-se a altura total das quatro árvores de maior D para obter a altura dominante média por parcela (Hd). Em seguida, utilizando-se os dados de H, D e Hd e, ou, transformações destes, procedeu-se à estimativa de 12 equações hipsométricas geradas a partir das seguintes relações funcionais lineares:

$$\frac{1}{\sqrt{H}} = f\left(\frac{1}{D^2}\right) \quad (1)$$

$$\text{Ln}(H) = f[\text{Ln}(D)] \quad (2)$$

$$\frac{1}{H} = f\left(\frac{1}{D}; \frac{1}{D^2}\right) \tag{3}$$

$$H = f[\text{Ln}(D)] \tag{4}$$

$$\frac{D}{\sqrt{H}} = f(D) \tag{5}$$

$$\text{Ln}(H) = f\left(\frac{1}{D}\right) \tag{6}$$

$$\text{Ln}(H) = f(D; D^2) \tag{7}$$

$$\frac{D}{\sqrt{H}} = f\left(\frac{1}{D}; D^2\right) \tag{8}$$

$$H = f(D; D^2; H_d) \tag{9}$$

$$\text{Ln}(H) = f\left[\left(\frac{1}{D}\right); \text{Ln}(H_d)\right] \tag{10}$$

$$\frac{1}{\sqrt{H}} = f\left[\left(\frac{1}{D^2}\right); (H_d)\right] \tag{11}$$

$$\frac{D}{\sqrt{H}} = f\left[\text{Ln}(H_d); \left(\frac{D}{H_d}\right)\right] \tag{12}$$

Em que: Ln= logaritmo neperiano, demais já foram definidos anteriormente.

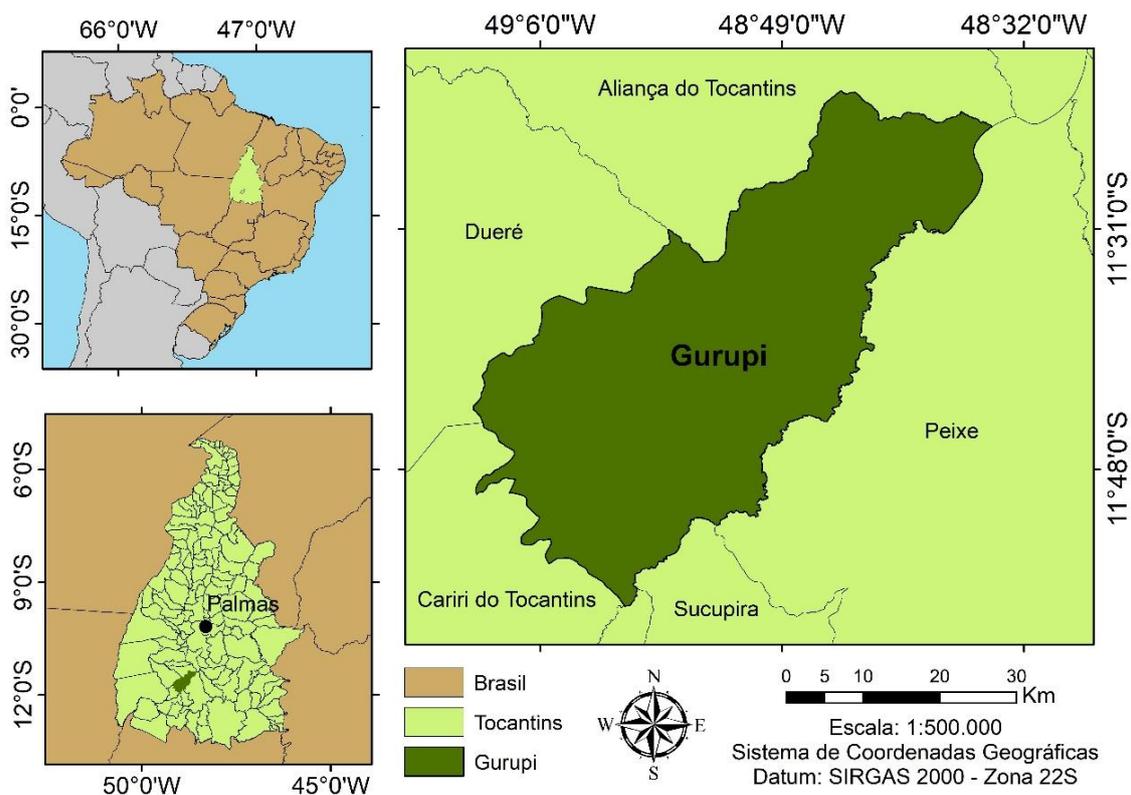


Figura 1. Localização no território brasileiro com abrangência a região onde foram coletados os dados visando testar diferentes equações hipsométricas para o clone VM01.

Ressalta-se que as 12 relações funcionais lineares testadas, foram obtidas nos trabalhos de Azevedo et al. (1999), Leite & Andrade (2003), Neto et al. (2010), Rossi et al. (2011), Miranda et al. (2014), Souza et al. (2017) e Miguel et al. (2018), com ressalvas às relações 11 e 12 que foram desenvolvidas exclusivamente para este trabalho.

Na estimativa e análise das equações hipsométricas, geradas a partir das relações funcionais 1 a 12, empregou-se procedimentos estatísticos existentes no R for Windows 3.2.5 (R CORE TEAM, 2016) em uma base de dados formada com as cinco primeiras árvores de cada parcela, totalizando 85 indivíduos. O restante de três árvores por parcela, totalizando 51 indivíduos com H e D diferentes das 85 árvores, foram reservadas para um teste de validação das equações hipsométricas que mais se destacaram no ajuste aos dados do VM01.

Numa análise preliminar do ajuste das equações hipsométricas, considerou-se ao nível de 5%: significância das estimativas dos coeficientes e não-significância das hipóteses sobre as pressuposições da análise de regressão (normalidade, homocedasticidade e independência de resíduos). Também, se verificou a existência de multicolinearidade pelo valor de inflação de variância (VIF), a qualidade do ajuste por meio do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e erro padrão residual (EPR) e a análise gráfica da distribuição de resíduos. Vale destacar ainda, com exceção das relações 4 e 9, que se procedeu ao recálculo de R^2_{aj} e EPR (SCHNEIDER et al., 2009).

Na verificação das pressuposições da regressão quanto a normalidade, homocedasticidade e independência (SCHNEIDER et al., 2009), aplicou-se os testes estatísticos: Kolmogorov-Smirnov (KS) para normalidade, Breusch-Pagan (BP) para avaliar a homogeneidade de variâncias (homocedasticidade) e Darbin-Watson (DW) para verificar a independência. Para esta situação descrita, foram avaliadas três hipóteses (ou provas), quais sejam as seguintes:

1) Prova de normalidade:

H_0 = a distribuição testada segue a distribuição normal; e

H_a = a distribuição testada não segue a distribuição normal.

2) Prova de homocedasticidade:

H_0 = as variâncias são iguais; e

H_a = pelo menos uma variância é diferente.

3) Prova de independência:

H_0 = não existe correlação em série; e

H_a = existe correlação em série.

Além do ajuste utilizando todos os dados das 85 árvores, procedeu-se, também, ao ajuste em separado por classe de Hd (CHd) das equações hipsométricas que mais se destacaram. Neste caso, para definir as CHd, realizou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC) considerando as 17 parcelas como sendo os tratamentos, as quatro árvores dominantes por parcela sendo consideradas as repetições e, a altura de cada árvore, a variável aleatória de interesse. Também, se constada diferença significativa através do DIC, se dará preferência pelo teste de Skott-Knott para detectar grupos de parcelas, ou, CHd similares com referência à Hd.

Ressalta-se, que o DIC foi utilizado apenas para basear a definição de CHd, sendo empregado o teste de identidade de Graybill (F_{H_0}) para constatar a existência de diferença significativa entre as equações hipsométricas ajustadas para cada CHd e ajustadas englobando todas as classes juntas (LEITE & ANDRADE, 2003; CERQUEIRA et al., 2019). Ou seja, o teste de identidade foi utilizado apenas com o fim de identificar se a situação inventariada exige estimar equações hipsométricas por CHd, ou, estimar uma só equação com todos os dados das parcelas juntas, sem a separação por CHd.

Na sequência das análises, empregando-se apenas as equações que mais se destacaram, foram utilizadas três árvores por parcela (51 árvores) para um teste de validação com dados independentes, em cujas árvores não fizeram parte do banco de dados com cinco árvores por parcela (85 árvores). Nesta situação, se aplicou do teste de Qui-quadrado (χ^2) com um nível de significância de 5%, sendo empregada a equação: $\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(H_i - H_{pi})^2}{H_{pi}}$, onde χ^2 é o valor calculado do Qui-quadrado e H_{pi} a altura predita (m).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 1 apresentaram uma variação para R^2_{aj} de 0,515 à 0,610 com valor menor que 0,550 apenas para as equações 2 e 3. Já, quanto ao EPR, houve variação de 9,26% à 10,32% com valor maior que 10% apenas para a equação 2. Nesse cenário, se observa que os resultados de EPR foram melhores aos encontrados por Neto et al. (2010) e inferiores aos obtido por Souza et al. (2017) que trabalharam com urograndis no DF e no PA, respectivamente. Também, nota-se que são valores próximos aos encontrados por Miguel et al. (2018), que trabalharam com ajustes hipsométricos para urograndis no MS. Ainda, se observam valores de R^2_{aj} inferiores aos obtidos por Ribeiro et al. (2010).

Por outro lado, quanto à significância das estimativas dos coeficientes de regressão, se observa pelo teste t de *student* que as equações 3, 10 e 11 tiveram estimativas não significativas ao nível de 5%. Além disso, se observa que as equações 3, 7 e 9 não atenderam ao requisito de não multicolinearidade (VIF). Já, quanto a não rejeição das hipóteses H_0 sobre as pressuposições da regressão (Tabela 1), se verificou que: não existe correlação em série pelo teste DW para todas as equações geradas; há normalidade pelo teste KS para as equações 2, 4, 5, 6, 10 e 12; e há homocedasticidade apenas para as equações 8, 9 e 12 pelo teste BP. Com esses resultados e considerando que a

falta de normalidade de resíduos não muito afeta o emprego da regressão linear, apenas as equações hipsométricas 8 e 12 atendem as exigências para emprego da regressão linear (significância dos coeficientes, VIF, KS, BP e DW).

Tabela 1. Resultados dos critérios estatísticos de análise adotados para avaliar 12 equações hipsométricas geradas para o clone VM01.

RF ¹	Equação Hipsométrica	b ₀ ²	b ₁ ²	b ₂ ²	b ₃ ²	KS ³	BP ³	DW ³	R ² aj ⁴	EPR ⁵
1	$\hat{H} = \left(\frac{1}{0,24030 + 3,51658 \frac{1}{D^2}} \right)^2$	*	*			*	*	ns	0,588	9,51
2	$\hat{H} = e^{1,19200 + 0,57976 \ln(D)}$	*	*			ns	*	ns	0,515	10,32
3	$\hat{H} = \frac{1}{0,03941 + 0,29558 \left(\frac{1}{D}\right) + 1,05489 \left(\frac{1}{D^2}\right)}$	*	ns (20,6)	ns (20,6)		*	*	ns	0,546	9,98
4	$\hat{H} = 6,62850 \ln(D) - 2,31120$	ns	*			ns	*	ns	0,567	9,76
5	$\hat{H} = \left(\frac{D}{0,76349 + 0,20298 D} \right)^2$	*	*			ns	*	ns	0,570	9,72
6	$\hat{H} = e^{\left\{ 3,12760 + \left[-5,71570 \left(\frac{1}{D}\right) \right] \right\}}$	*	*			ns	*	ns	0,579	9,62
7	$\hat{H} = e^{(1,15733 + 0,20444 D - 0,00656 D^2)}$	*	*	*		*	*	ns	0,553	9,91
8	$\hat{H} = \left[\frac{D}{2,45797 - 3,79029 \left(\frac{1}{D}\right) + 0,00714 (D^2)} \right]^2$	*	*	*		*	ns	ns	0,573	9,69
9	$\hat{H} = 2,19053 (D) - 0,06867 (D^2) + 0,40382 (Hd) - 8,40673$	*	*	*	*	*	ns	ns	0,605	9,32
10	$\hat{H} = e^{\left[2,14480 - 5,57360 \left(\frac{1}{D}\right) + 0,35470 \ln(Hd) \right]}$	*	*	ns		ns	*	ns	0,593	9,46
11	$\hat{H} = \left(\frac{1}{0,29533 + 3,54384 \left(\frac{1}{D^2}\right) - 0,00344 (Hd)} \right)^2$	*	*	ns		*	*	ns	0,610	9,26
12	$\hat{H} = \left[\frac{D}{2,08530 \ln(Hd) + 3,32820 \left(\frac{D}{Hd}\right) - 5,08260} \right]^2$	*	*	*		ns	ns	ns	0,582	9,59

¹ relação funcional ajustada; ² coeficientes de regressão estimados; valores entre parêntese se referem ao valor de inflação de variância (VIF); ³ testes de Kolmogorov-Smirnov, Breusch-Pagan e Durbin-Watson, respectivamente; * e ns= significativo e não significativo ao nível de 5%, respectivamente; ⁴ coeficiente de determinação ajustado; ⁵ erro padrão residual (%).

Cabe ressaltar que a análise realizada, incluindo-se os critérios: significância das estimativas dos coeficientes de regressão, requisito de não multicolinearidade e pressuposições da regressão, delineou uma decisão melhor balizada quanto à relação funcional que mais se sobressaiu para caracterizar a relação hipsométrica do clone VM01, do que se basear apenas no R²aj e EPR. Como se observa na Tabela 1, as equações hipsométricas 8 e 12 não apresentaram os melhores resultados, sendo de 0,573 e 0,582 contra 0,610 do modelo 11 para R²aj e de 9,69% e 9,59% contra 9,26% do modelo 11, cujo modelo 11 não atendeu aos critérios de significância das estimativas dos coeficientes e pressuposições da regressão. Como resultado, se fosse selecionada a equação 11 com base apenas nos critérios de R²aj e EPR, se daria destaque a uma equação hipsométrica tendenciosa e, estatisticamente, inadequada ao clone VM01.

Na Figura 2, para as equações hipsométricas em destaque dentre as 12 avaliadas, equações 8 e 12, se observa uma distribuição de resíduos melhor equilibrada e mais homogênea para a equação 12. Ao considerar uma oscilação dos erros em ±10%, pôde-se verificar que a quantidade de erros, oscilando fora de ±10% delimitado pela linha tracejada na Figura 2, são maiores para a equação 8 com 24,7% contra 21,2% da equação 12, a qual inclui a variável independente Hd. Portanto, as equações hipsométricas 8 e 12 foram as que mais se sobressaíram aos dados do clone VM01 no cerrado do Tocantins (Tabela 1 e Figura 2), com inexpressivo destaque para a equação 12.

Além do ajuste utilizando-se as informações das 85 árvores em um único banco de dados, procedeu-se também ao ajuste das equações 8 e 12 em separado por CHd. Neste caso, para obter CHd, realizou-se um DIC que resultou em um teste F altamente significativo (p-value=0,000015), além de resultar em normalidade e homocedasticidade pelos testes de Shapiro-Wilk (p-value=0,57) e Bartlett (p-value=0,32), respectivamente.

O resultado significativo do teste F, exigiu a aplicação do teste de Skott-Knott resultando em três diferentes grupos de parcelas que, após análise da Hd, resultou nas classes: Hd < 15,5, 15,5 < Hd < 17,0 e Hd > 17,0; seguido do respectivo ajuste por CHd das relações 8 e 12 (Tabela 2). Também, devido ao teste de identidade F_{H_0} resultar em não significância (1,87^{ns} e 0,96^{ns}), a situação inventariada indica ser ideal estimar uma só equação 8, ou 12, com todos os dados em um só banco de dados, independentemente da parcela.

Visando verificar o nível de aplicabilidade das equações 8 e 12, tanto geradas com todos os dados como por CHd, aplicou-se o teste de Qui-quadrado ao nível de 0,05 utilizando-se três árvores por parcela (51 árvores), com dados diferentes das 85 árvores utilizadas no ajuste destas equações (Tabelas 1 e 2). Como resultado, obteve-se não

significância na diferença entre as alturas observadas e previstas pelas equações 8 e 12 com e sem a separação dos dados por CHd. Portanto, a variável Hd não contribuiu para melhoria na acurácia de equações hipsométricas para o clone VM01 na região inventariada de cerrado do Tocantins.

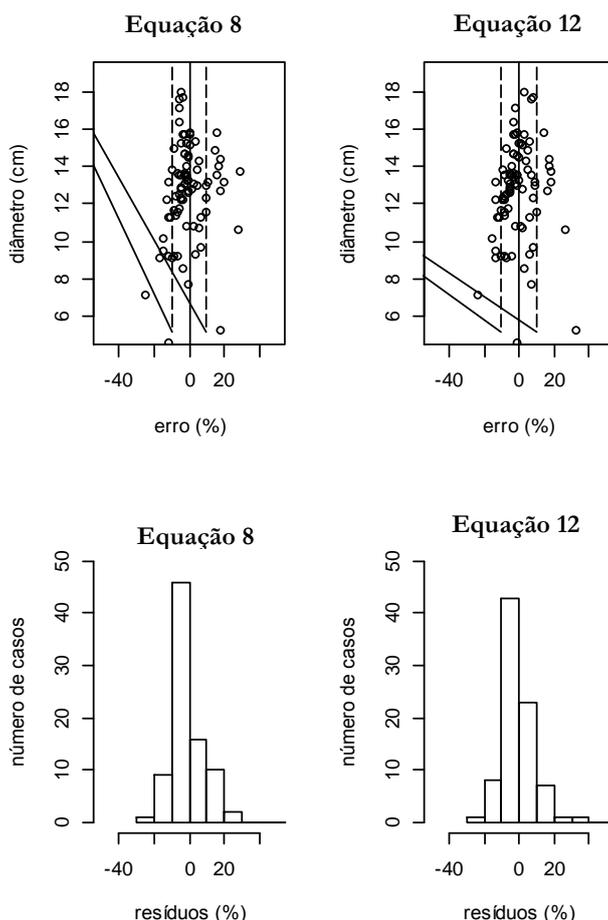


Figura 2. Distribuição de resíduos em porcentagem de 85 árvores do VM01 obtida para as equações hipsométricas 8 e 12.

Tabela 2. Resultados dos coeficientes estimados das relações funcionais 8 e 12 por classe de altura dominante empregando-se um total de 85 árvores.

RF ¹	Coef. ²	Hd ≤ 15,5 (4 parcelas)	15,5 < Hd ≤ 17,0 (11 parcelas)	Hd > 17,0 (2 parcelas)
8	b ₀	1,79220	2,38754	3,39532
	b ₁	0,17032	-3,10783	-11,85116
	b ₂	0,00966	0,00716	0,00516
12	b ₀	-3,98508	-6,07265	-11,37818
	b ₁	1,59296	2,48455	4,13211
	b ₂	3,59446	3,17037	3,87174

¹ relação funcional ajustada; ² coeficientes b₀, b₁ e b₂ estimados; Hd= altura dominante média por parcela.

4. CONCLUSÕES

As equações hipsométricas 8 e 12, foram as que mais se sobressaíram no ajuste aos dados do clone VM01 inventariado no cerrado do Tocantins.

A inclusão da variável independente Hd, não promoveu melhorias na acurácia de equações hipsométricas.

O ajuste de equações hipsométricas não é necessário ser realizado por classes de altura dominante.

Ao testar equações hipsométricas para o clone VM01, levando em conta uma análise estatística baseada nos critérios: R²aj, EPR, significância das estimativas dos coeficientes de regressão, requisito de não multicolinearidade e pressuposições da regressão, se permitiu um melhor balizamento na identificação das equações que melhor se sobressaíram do que considerar apenas os critérios: R²aj e EPR.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J.A.; CALEGARIO, N.; ROSADO, S.C.S.; SILVA, G.A.; POSSATO, E.L.; MELO, E.A. Equações hipsométricas para *Toona ciliata* com inclusão de covariantes. **Ciência Florestal**, v.27, n.2, p.581-595, 2017. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509827738>
- ARAÚJO, E.J.G.; PELISSARI, A.L.; DAVID, H.C.; SCOLFORO, J.R.; NETTO, S.P.; MORAIS, V.A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.32, n.71, p.257-268, 2012. <http://dx.doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.257>
- AZEVEDO, C.P.; MUROYA, K.; GARCIA, L.C.; LIMA, R.M.B.; MOURA, J.B.; NEVES, E.J.M. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.39, p.5-29, 1999.
- CERQUEIRA, C.L.; ARCE, J.E.; FRANÇA, L.C. de J.; AMORIM, F.S.; SILVA, S.A. da S.; LISBOA, G. dos S. Influência da posição sociológica na relação hipsométrica de *Vochysia pyramidalis* Mart. **Advance Forest Science**, v.6, n.1, p.501-506, 2019. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v6i1.6309>
- LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.301-31, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000300005>
- MIGUEL, E.P.; SILVA, L.D.D.; PANIAGO, G.F.; GODINHO, O.L.; ONO, H.A.; PEGORATO, M.L.; LEAL, A.J.F.L.; PIREZ, J. Modelagem hipsométrica em povoamentos híbrido clonal de *Eucalyptus*. **Agrarian**, v.11, n.40, p.159-167, 2018. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i40.3324>
- MIRANDA, R.O.V.; DAVID, H.C.; EBLING, Â.A.; MÔRA, R.; FIORENTIN, L.D.; SOARES, I.D. Estratificação hipsométrica em classes de sítio e de altura total em plantios clonais de eucaliptos. **Advance Forest Science**, v.1, n.4, p.113-119, 2014.
- NETO, S.P.M.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MUNHOZ, D.J.M.; JÚNIOR, R.G.; MARCHÃO, R.L. **Modelos hipsométricos para *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em sistema agrossilvipastoril**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 33p.
- OLIVEIRA, F.G.R.B.; SOUSA, G.T.O.; AZEVEDO, G.B.; BARRETO, P.A.B. Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.13, p.331-338, 2011.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2016.
- RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A.C.; MELLO, H.M. de; FERREIRA, M.Z.; LISBOA, P.M.M.L.; SCOLFORO, J.R.S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, v.16, n.1, p.22-31, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000100003>
- ROSSI, A.S.; DRESCHER, R.; PELISSARI, A.L.; LANSSANOVA, L.R. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* L.f. no município de Monte Dourado, Pará. **Scientia Forestalis**, v.39, n.91, p.301-307, 2011.
- SCHNEIDER, P.R.; SCHNEIDER, P.S.P.; SOUZA, C.A.M. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2009. 294p.
- SOUZA, A.S.; SANTOS, J.X.; SOUZA, D.V. Modelagem da relação hipsométrica para um povoamento híbrido de eucalipto na Amazônia Brasileira. **Biofix Scientific Journal**, v.2, n.1, p.44-53, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v2i1.51395>
- SOUZA, G.T.O.; AZEVEDO, G.B.; BARRETO, P.A.B.; JÚNIOR, V.C. Relações hipsométricas para *Eucalyptus urophylla* conduzidos sob regime de alto fuste e talhadia no Sudoeste da Bahia. **Scientia Plena**, v.9, n.34, p.1-7, 2013.
- STOLLE, L.; VELOZO, D.R.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, R.C.; BEUTLING, A. Modelos hipsométricos para um povoamento jovem de *Khaya ivorensis* A. Chev. **Biofix Scientific Journal**, v.3, n.2, p.231-236, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i2.58799>