

Modelos de altura-diâmetro para um plantio clonal de eucalipto no Sul do Tocantins

Valdir Carlos Lima de Andrade¹ Thaís Schmitt¹ Daniel Henrique Breda Binoti² Samuel de Pádua Chaves e Carvalho³ Hélio Garcia Leite²

¹ Universidade Federal de Tocantins, Rua Badejos, Lote 7, Chácaras 69/72, Gurupi-TO, 77402-970

² Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, Campus Universitário, Viçosa-MG, 36570-000

³ Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Correa da Costa, 2367, Boa Esperança, Cuiabá-MT, 78060-900

*Author for correspondence: vclandrade@uft.edu.br

Received: May 2018 / Accepted: November 2018 / Published: December 2018

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar alguns modelos estatísticos para caracterizar a relação altura-diâmetro em um plantio de eucalipto localizado na região Sul do Tocantins. Inicialmente, avaliou-se 14 modelos de altura-diâmetro quanto ao coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e análise da distribuição de resíduos. Em seguida, empregando-se os melhores modelos, avaliou-se a predição da altura de árvores por meio da validação cruzada entre dois lotes de dados obtidos com 11 parcelas de 348 m² cada. Para este propósito, adotou-se as estatísticas do erro médio absoluto, raiz quadrada do erro quadrático médio e a soma dos quadrados dos resíduos relativos, concomitantemente à análise de distribuição dos resíduos. Concluiu-se que o modelo de Chapman-Richards foi o mais apropriado para caracterizar as variações de altura-diâmetro na área de eucalipto amostrada no Sul do estado de Tocantins.

Palavras-Chave: modelos de regressão, validação cruzada, relação hipsométrica, inventário florestal.

Abstract

The purpose of this study was to evaluate some statistical models to characterize the relationship height-diameter in a plantation of eucalyptus located at south of Tocantins. Initially, 14 height-diameter models were evaluated for the adjusted determination coefficient, residual standard error and residue distribution analysis. Then, using the best models, the tree height prediction was evaluated by cross-validation between two lots of data obtained with 11 plots of 348 m² each. For this purpose, the statistics of the mean absolute error, square root of the mean square error and the sum of the squares of the relative residues were used, concomitantly with the residue distribution analysis. It was concluded that the Chapman-Richards model was the most appropriate to characterize the height-diameter variations in the sampled eucalyptus area in the southern state of Tocantins.

Keywords: regression models, cross validation, hypsometric relation, forest inventory.

Introdução

Equações de altura-diâmetro são utilizadas para determinar a altura total de árvores (h) por meio da medição de apenas do diâmetro do seu tronco situado a 1,3 m de altura (d). Para obter uma equação deste tipo, é necessário uma base de dados amostrais com pares de h e d. Basicamente, se constitui na formação de duas bases de dados com as árvores que compõem as parcelas de inventário. Enquanto uma se constitui de dados de h e d, medidos em algumas árvores-amostra (Lote 1), a outra se constitui somente do diâmetro d medido no restante das árvores das parcelas (Lote 2). Com isso, empregando-se

técnicas de regressão linear e, ou, não-linear, os dados do Lote 1 são utilizados para gerar uma equação de altura-diâmetro a fim de aplicar nos dados do Lote 2 para obter a altura das árvores, em que se mediu apenas o seu diâmetro.

Esta necessidade ocorre porque a medição da altura de árvores, por ser um processo lento e sujeito a erros, caracteriza-se em uma atividade onerosa. Por isso, é prática comum, nos inventários de plantios florestais brasileiros, formar os lotes de dados 1 e 2 com a avaliação de uma gama de modelos estatísticos para gerar uma confiável equação de altura-diâmetro. Na literatura florestal encontram-se muitos destes modelos, já intensivamente avaliados e adequados para estimar, de forma confiável, à altura média das árvores, conforme os trabalhos feitos por: Batista et al. (2001), Barros et al. (2002), Machado et al. (2008), Moraes-Neto et al. (2009), Donadoni et al. (2010), Rocha et al. (2010), Andrade e Leite (2011), Azevedo et al. (2011), dentre muitos outros.

Diante disso e da ausência de trabalhos sobre relação altura-diâmetro no estado do Tocantins, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar modelos estatísticos para caracterizar a relação altura-diâmetro de um plantio de eucalipto clonal localizado na região Sul do estado do Tocantins, Brasil.

Material e Métodos

Base de dados e sua localização

Os dados de altura e diâmetro, que constituíram a base de dados para ajuste e validação de modelos de altura-diâmetro, foram obtidos pela medição de oito primeiras árvores em 11 parcelas retangulares com 348 m² de área cada uma. Parcelas estas, que pertencem à implementação de um inventário florestal contínuo (IFC), foram distribuídas de forma sistemática em 75,0 ha de um plantio clonal misto com 25% das árvores sendo de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e 75% do híbrido entre *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e *Eucalyptus Alba* Reinw ex Blume. Este plantio, onde se fez a primeira medição do IFC com idade em torno de 3 anos, localiza-se próximo ao município de Gurupi, região Sul do Tocantins.

Modelos estatísticos avaliados para caracterizar a relação altura-diâmetro

Devido ao relacionamento da altura das árvores apenas com o seu respectivo diâmetro, por meio de transformações destas, os modelos estatísticos avaliados são denominados de modelos de relação altura-diâmetro. Assim, a partir de modelos encontrados nos trabalhos de Batista et al. (2001), Barros et al. (2002), Machado et al. (2008), Moraes-Neto et al. (2009), Donadoni et al. (2010), Riberio et al. (2010), Andrade e Leite (2011), Azevedo et al. (2011) e Araujo et al. (2012), avaliou-se as seguintes relações funcionais lineares:

$$(h)=f\left(\frac{1}{d}\right) - (1),$$

$$(h)=f(\ln d) \quad - (2),$$

$$\ln(h)=f(\ln d) \quad - (3),$$

$$\ln(h)=f\left(\frac{1}{d}\right) \quad - (4),$$

$$\frac{1}{h}=f\left(\frac{1}{d}\right) \quad - (5),$$

$$\frac{d^2}{h}=f(d;d^2) \quad - (6),$$

$$\frac{d^2}{h}=f(d^2) \quad - (7),$$

$$\frac{1}{\sqrt{h}}=f\left(\frac{1}{d}\right) \quad - (8),$$

$$\frac{1}{\sqrt{h}}=f\left[\left(\frac{1}{d}\right); \left(\frac{1}{d}\right)^2\right] \quad - (9),$$

$$\frac{1}{h}=f\left(\frac{1}{d}\right)^2 \quad - (10)$$

e

$$\ln h = f\left\{\ln\left[\frac{d}{(1+d)}\right]\right\} \quad - 11.$$

Em que: h=altura total (m), d=diâmetro mensurado à 1,3 do solo (cm), Ln=logaritmo neperiano, exp=inverso de Ln, ε=erro aleatório associado ao modelo.

Conforme utilizados por Batista et al. (2001), Machado et al. (2008) e Moraes-Neto et al. (2009), avaliaram-se os seguintes modelos não-lineares de altura-diâmetro:

$$h = \beta_0 \exp\left(\frac{\beta_1}{d}\right) + \varepsilon \quad - (12),$$

$$h = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 d)]^{\beta_2} + \varepsilon \quad - (13)$$

e

$$h = \frac{\beta_0}{1 + \exp(\beta_1 d)} + \varepsilon \quad - (14).$$

Em que: β₀, β₁, β₂=coeficientes à serem estimados, demais já foram definidos.

Critérios de avaliação e seleção dos modelos

Inicialmente, para o emprego da técnica de validação cruzada dos modelos hipsométricos avaliados, as 11 parcelas foram separadas em dois lotes de dados, dos quais, um foi utilizado no ajuste dos modelos hipsométricos e, o segundo lote com dados independentes, foi utilizado em um teste de validação das equações hipsométricas geradas com os dados de ajuste e vice-versa (Batista et al. 2001).

Antes de proceder à validação cruzada, preliminarmente, decidiu-se por alguns modelos de melhor qualidade e nível de precisão no ajuste. Para este fim, utilizou-se o Índice de Schlaegel (IS) e o erro padrão da estimativa (EPR), cujos detalhes de obtenção e análise, podem ser vistos em: Barros et al. (2002), Donadoni et al. (2010), Azevedo et al. (2011) e Araújo et al. (2012).

Com a finalidade de facilitar a escolha prévia dos melhores modelos de relação altura-diâmetro, realizou-se a ordenação dos resultados obtidos de IS e EPR. Assim, para cada um dos dois lotes de dados de parcelas, o melhor resultado classificou um determinado modelo em primeiro lugar sendo atribuída a nota 1 e, sucessivamente, até o pior modelo que recebeu a nota respectiva à sua classificação. A soma destas notas obtidas permitiu classificar o nível de

estimação da equação hipsométrica, separadamente, em cada um dos dois lotes de dados de parcelas. O total das notas obtidas, com os dois lotes de dados, resultou na nota de ajuste que permitiu classificar cada um dos 14 modelos hipsométricos avaliados.

Aliado aos critérios de IS e EPR, foi feita a análise da distribuição de resíduos (ADR) que, previamente, complementou a seleção dos melhores modelos de relação altura-diâmetro. Em seguida, empregando-se a técnica de validação cruzada, estes melhores modelos tiveram a predição da altura de árvores avaliada por meio dos critérios estatísticos conforme já utilizados por Batista et al. (2001), quais sejam os seguintes:

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}{n},$$

$$RQM = \sqrt{QM}$$

$$RQEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_{pe_i})^2}{n}}$$

e

$$SQER = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\varepsilon_i}{h_i}\right)^2.$$

Em que:

$$\varepsilon_i = (h_i - h_{pe_i})$$

e

$$QM = \varepsilon_i^2 + v\varepsilon.$$

Em que: EMA=erro médio absoluto, n=número de árvores utilizadas na predição da altura, RQEM = raiz quadrada do erro quadrático médio, QM=quadrado médio, SQER=soma dos quadrados dos erros relativos, h_{pe}=altura predita pela aplicação da equação de altura-diâmetro em dados independentes dos dados de ajuste, "vε" =variância dos erros, demais já foram definidos.

Para facilitar a escolha do melhor modelo de relação altura-diâmetro, dentre os modelos indicados por IS, EPR e ADR, foi feito um ordenamento quanto à classificação de EMA, RQEM e SQER. Assim, em uma validação cruzada, o melhor resultado classificou um destes modelos em primeiro lugar sendo atribuída a nota 1 e, sucessivamente, até o pior modelo que recebeu a nota respectiva à sua classificação. A soma destas notas permitiu classificar um determinado modelo hipsométrico quanto ao seu nível de predição da altura de árvores para cada um dos dois lotes de dados de parcelas. O total das notas obtidas, com os dois lotes de dados, resultou na nota de predição que, somada à nota de ajuste e aliado à ADR, permitindo selecionar um modelo de relação altura-diâmetro para a espécie em estudo.

Resultados e discussão

Análise descritiva dos dados

Na Tabela 1 observa-se que as árvores-amostra representaram uma variação diamétrica de 4,0 e 4,6 cm (amplitude total), com a maioria das árvores tendo diâmetro oscilando em torno de 10,1 e de 10,5 cm para os lotes de dados 1 e 2 respectivamente. Conforme o intervalo interquartil, 50% das árvores tem diâmetros entre 9,4 e 10,7 cm para o lote 1 e, para o lote 2, entre 9,9 e 11,3 cm. Já, ao considerar o coeficiente de variação, observa-se que o diâmetro tem maior variabilidade no lote 2 devido à apresentar o maior valor que no lote 1 (10,6% versus 9,3%).

Quanto a variável altura, observa-se que as árvores-amostra representaram uma variação de 5,2 e 4,5 m, com a maioria das árvores tendo altura oscilando em torno de 15,0 e de 15,1 m para os lotes de dados 1 e 2 respectivamente (Tabela 1). Conforme o intervalo interquartil, 50% das árvores tem alturas entre 14,5 e 16,0 m para o lote 1 e, para

o lote 2, entre 14,1 e 16,2 m. Já, ao considerar o coeficiente de variação, observa-se que a altura tem maior variabilidade no lote 1 devido à apresentar o maior valor (9,0% versus 8,3%).

De maneira geral, as estatísticas apresentadas na Tabela 1 mostraram que há pouca variabilidade dos dados amostrados (Cv). Tal situação pode ser visualizada na Figura 1, onde se observa melhor dispersão dos dados de altura em relação do diâmetro para o lote 2.

Tabela 1- Estatísticas descritivas dos dados de altura e diâmetro amostrados em um plantio clonal de eucalipto no Sul do Tocantins

Dados	Estatística	d	h
Lote 1 (5 parcelas; 40 árvores-amostra)	Mínimo	8,47	11,50
	Máximo	12,41	16,75
	Média	10,12	15,09
	Cv	9,36	9,01
	Percentil 25	9,42	14,50
	Percentil 75	10,72	16,00
Lote 2 (6 parcelas; 47 árvores-amostra)	Mínimo	8,21	12,50
	Máximo	12,86	17,00
	Média	10,56	15,15
	Cv	10,68	8,31
	Percentil 25	9,95	14,13
	Percentil 75	11,30	16,25

d=DAP(cm), h=altura(m) e Cv=Coefficiente de variação.

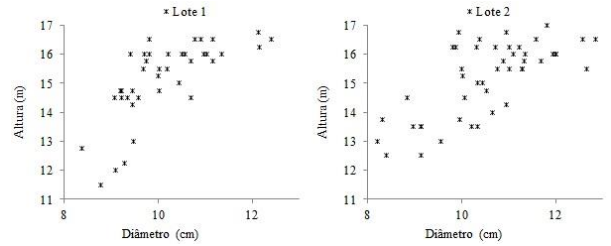


Figura 1- Dispersão da altura em relação do diâmetro para um plantio de eucalipto localizado na região sul do Tocantins.

Avaliação dos modelos ajustados de altura-diâmetro

Preliminarmente, com base no IS e EPR, aliado à ADR, os seis melhores modelos hipsométricos foram: 1, 4, 7, 9, 12 e 13, sendo as equações de altura-diâmetro estimadas pelos modelos 7 e 13 as que mais se destacaram, pois apresentaram a menor nota de ajuste (NA), com valor de 14 e 18 pontos respectivamente (Tabela 2).

Por outro lado, em uma validação cruzada, as equações advindas do ajuste dos modelos 7 e 13 proporcionaram melhor predição por apresentarem a menor nota NP de 10 e 16 pontos respectivamente (Tabela 2). Dentre os modelos 7 e 13, a melhor equação hipsométrica é a que foi estimada a partir do modelo 7 por resultar na menor nota NG de 24 pontos contra 34 da equação ajustada a partir do modelo 13 (Tabela 2). Um complemento desta análise pode ser visto na Figura 2, a qual apresenta a distribuição resíduos percentuais em relação do diâmetro com a aplicação em dados diferentes aos utilizados para ajuste dos modelos 7 e 13, ou seja, equações estimadas com dados do lote 1 foram aplicadas aos dados do lote 2 e vice-versa.

Tabela 2- Estatísticas obtidas das seis melhores equações de altura-diâmetro para um plantio clonal de eucalipto no Tocantins

Equação	IS	EPR	NA	EMA	RQM	SQER	NP	NG
Lote de dados 1 com 5 parcelas:								
(1) $\hat{h} = 26,150 - 110,98/d$	52,32 ⁵	6,22 ⁴	22	-0,365 ⁴	0,991 ³	0,212 ³	25	47
(4) $\hat{h} = \exp[3,473-(7,660/d)]$	50,54 ⁸	6,34 ⁷	23	-0,371 ⁶	1,016 ⁴	0,219 ⁴	28	51
(7) $\hat{h} = d^2/[2,375+0,043(d^2)]$	51,27⁶	6,29⁵	14	-0,303²	0,959¹	0,197¹	10	24
(9) $\hat{h} = 1/[0,485-(5,702/d)+(34,045/d^2)]^2$	56,73 ²	5,85 ¹	21	-0,320 ³	1,047 ⁶	0,252 ⁶	21	42
(12) $\hat{h} = 30,567 \exp(-7,104/d)$	50,91 ⁷	6,31 ⁶	23	-0,367 ⁵	0,988 ²	0,210 ²	21	44
(13) $\hat{h} = 16,729[1-\exp(-0,848d)]^{433,1}$	56,71³	5,93²	18	-0,235¹	1,038⁵	0,249⁵	16	34
Lote de dados 2 com 6 parcelas:								
(1) $\hat{h} = 23,20 - 84,62/d$	50,36 ¹	6,13 ¹²	-	0,320 ⁶	1,008 ⁵	0,201 ⁴	-	-
(4) $\hat{h} = \exp[3,270-(5,797/d)]$	49,86 ⁵	5,88 ³	-	0,302 ⁵	1,007 ⁴	0,202 ⁵	-	-
(7) $\hat{h} = d^2/[1,924+0,048(d^2)]$	50,16²	5,86¹	-	0,182¹	0,974²	0,197³	-	-
(9) $\hat{h} = 1/[0,244-(0,457/d)+(6,131/d^2)]^2$	49,57 ⁹	5,90 ⁹	-	0,245 ²	0,974 ²	0,192 ²	-	-
(12) $\hat{h} = 25,966 \exp(-5,641/d)$	49,94 ⁴	5,89 ⁶	-	0,269 ⁴	1,002 ³	0,202 ⁵	-	-
(13) $\hat{h} = 17,380[1-\exp(-0,371d)]^{6,36}$	49,78⁶	5,90⁷	-	0,255³	0,973¹	0,191¹	-	-

NA=nota obtida quanto ao nível de ajuste dos modelos hipsométricos, NP=nota obtida quanto ao nível de predição dentre 6 modelos hipsométricos, NG=nota geral (NA+NP), n° sobrescrito refere-se à classificação das equações quanto ao nível de precisão (IS e EPR) e nível de predição (EMA, RQM e SQER).

Na distribuição dos erros percentuais das equações 7 e 13, as quais foram ajustadas com os dados do lote 1 e aplicadas aos dados do lote 2 (Figuras A e E versus B e F), nota-se uma similaridade na tendência destes erros. Houve tendência indesejável para árvores com diâmetro menor que 11 cm de forma mais pronunciada com a aplicação da

equação 13 (Figuras A versus B). Para árvores com diâmetro superior à 11 cm, houve tendência em superestimar a altura de árvores com melhor distribuição para o modelo 13. Na análise do histograma dos erros percentuais (Figuras E versus F), se observa que a maioria se distribuem em ±5% de forma favorável à equação gerada a partir do modelo 13.

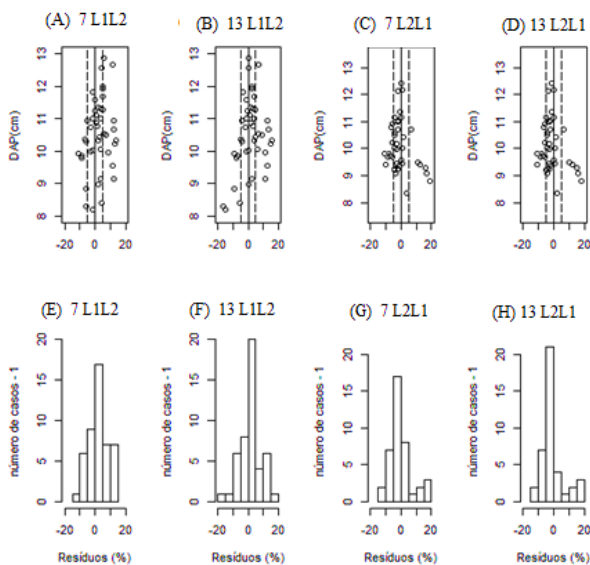


Figura 2- Distribuição de resíduos percentuais para os modelos 7 e 13. Em que: 7 L1L2= ajuste do modelo 7 com os dados do lote 1 e aplicado ao dados do Lote 2, 13 L1L2= ajuste do modelo 13 com os dados do lote 1 e aplicado ao dados do Lote 2, 7 L2L1= ajuste do modelo 7 com os dados do o lote 2 e aplicado ao dados do Lote 1, 13 L2L1= ajuste do modelo 13 com os dados do o lote 2 e aplicado ao dados do Lote 1.

Na análise das equações 7 e 13, as quais foram ajustadas com os dados do lote 2 e aplicadas aos dados do lote 1 (Figuras 2.C e 2.G versus 2.D e 2.H), nota-se uma distribuição dos resíduos bem similar de ambos modelos 7 e 13, sendo equilibrada e homogênea para árvores com diâmetro superior à 10,0 cm e com uma tendência indesejável para árvores com diâmetro menor que este valor. A predição da altura para árvores com diâmetros menores, com emprego da equação do modelo 13 (Figuras 2.B, 2.F, 2.D e 2.H), não prejudica a sua seleção porque os erros irão impactar pouco em comparação aos erros cometidos com diâmetros maiores com o uso da equação do modelo 7 (Figuras 2.A, 2.E, 2.C e 2.G).

Diante disso verifica-se a superioridade do modelo 13, principalmente, como é demonstrado na distribuição dos resíduos pela Figura 2. Também, por ser a equação 13 originada do modelo não linear de Chapman-Richards (modelo biomatemático), se justifica a sua seleção devido ao ajuste não-linear ser de desempenho superior quando comparado aos modelos lineares (Batista et al. 2001). Portanto, o modelo 13 é mais adequado para gerar equações de altura-diâmetro no plantio clonal de eucalipto localizado no Sul do Tocantins.

De maneira geral, diante do que se observou em plantios florestais brasileiros com diferentes espécies florestais e idades, verificou-se para os modelos hipsométricos locais selecionados por: Machado et al. (1994), Azevedo et al. (1999), Batista et al. (2001), Barros et al. (2002), Bartoszek et al. (2002), Caldeira et al. (2003), Moraes-Neto et al. (2009), Donadoni et al. (2010), Riberio et al. (2010), Rocha et al. (2010), Andrade e Leite (2011), Oliveira et al. (2011) e Araujo et al. (2012), uma variação do IS entre 31,6 à 97,6% e de EPR entre 3,2 à 17,7%, além de uma condição média de 68,7% e de 10,7%, respectivamente. Confrontando estes resultados com aqueles obtidos pelo modelo selecionado 13 (Tabela 2), nota-se que o IS se encontra em uma condição pouco abaixo da média e que o EPR se encontra em uma condição estatisticamente aceitável.

Especificamente, para plantios com até 4 anos, conforme os trabalhos de Machado et al. (1994), Azevedo et al. (1999), Moraes-Neto et al. (2009), Rocha et al. (2010),

Oliveira et al. (2011) e Araujo et al. (2012), observou-se para os melhores modelos hipsométricos locais, uma variação do IS entre 31,6 à 90,9% e do EPR entre 3,2 à 17,7%, além de uma condição média em torno de 64,0% e de 11,5%, respectivamente. Tais resultados demonstram piora em suas estatísticas para idades mais jovens, o que já se espera ocorrer conforme se nota no trabalho feito por Araujo et al. (2012). Mesmo assim, manteve-se a distância do IS e EPR anteriormente detectada em relação ao modelo 13 (Tabela 2).

Restringindo-se a análise somente para plantios com eucalipto, segundo os trabalhos feitos por: Batista et al. (2001), Moraes-Neto et al. (2009), Riberio et al. (2010), Rocha et al. (2010), Andrade e Leite (2011) e Oliveira et al. (2011), observou-se para os melhores modelos hipsométricos locais, uma variação do IS entre 31,6 à 91,8% e do EPR entre 3,2 à 17,7%, além de uma condição média de 78,2% e de 11,5%, respectivamente. Tais resultados de IS e EPR, confrontados com os valores obtidos pelo modelo 13 (Tabela 2), se encontram na mesma condição detectada anteriormente.

Conclusão

Dentre os 14 modelos de altura-diâmetro avaliados, o modelo de Chapman-Richards (modelo 13) foi o de melhor desempenho para descrever a relação altura-diâmetro da espécie e região de estudo, principalmente, por ter melhor distribuição de resíduos para árvores com maior diâmetro e por ser um modelo de característica biomatemática e de ajuste não linear.

Dentre modelos lineares, a relação funcional $d^2/h=f(d^2)$ foi a de melhor desempenho.

A análise de predições, por meio de validação cruzada, se mostrou mais eficiente na seleção do modelo de altura-diâmetro quando comparada a critérios estatísticos puros.

Referências

- Andrade VCL, Leite HG (2011) Hipsometric relationship modeling using data sampled in tree scaling and inventory plots. *Revista Árvore*, 35(1): 157-164. doi:10.1590/S0100-67622011000100019
- Araujo EJJ, Pelissari AL, David HC, Scolforo JRS, Netto SP, Morais VA (2012) Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 32(71): 257-268. doi:10.4336/2012.pfb.32.71.257
- Azevedo TL, Mello AA, Ferreira RA, Sanquetta CR, Nakajima NY (2011) Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 6(1): 105-112. doi:10.5039/agraria.v6i1a861
- Azevedo CP, Muroya K, Garcia LC, Lima RMB, Moura JB, Neves EJM (1999) Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 39: 5-29.
- Barros DA, Machado SA, Acerbi-Júnior FW, Scolforo JRS (2002) Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 45: 03-28.

- Bartoszeck ACPS, Machado SA, Figueiredo Filho A, Oliveira EB (2002) Modelagem da relação hipsométrica para bracingais da região metropolitana de Curitiba-PR. *Floresta*, 32(2): 189-204.
- Batista JLF, Couto HTZ (2001) Marquesini, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. *Scientia Forestalis*, 60: 143-163.
- Caldeira MVW, Schumacher, MV, Scheeren LW, Watzlawick LF (2003) Relação hipsométrica para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na Região Oeste do Estado do Paraná. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, 1(2): 79-88.
- Donadoni AX, Pelissari AL, Dreschen R, Rosa GD (2010) Relação hipsométrica para *Pinnus caribea* var. *hondurensis* e *Pinnus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia. *Ciência rural*, 40(12): 2499-2504. doi: 10.1590/S0103-84782010001200010
- Machado SA, Nascimento RGM, Augustynczyk ALD, Silva LCR, Figura MA, Pereira EM, Téo SJ (2008) Comportamento da Relação Hipsométrica de *Araucaria Angustifolia* no Capão da Engenharia Florestal da UFPR. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 56: 5-16.
- Machado SA, Bailey RL, Basso SF, Bevila-Cqua VG (1994) Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito a idade para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. *Cerne*, 1(1): 5-12.
- Moraes-Neto SP, Pulrolnik K, Vilela L, Munhoz DJM, Júnior RG, Marchão RL (2009) *Modelos Hipsométricos para Eucalyptus cloeziana e Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis em Sistema Agrossilvipastoril*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 33 p.
- Oliveira FGRB, Sousa GT, Azevedo GB, Barreto PAB (2011) Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. *Enciclopédia Biosfera*, 7(13): 331-338.
- Ribeiro A, Filho ACF, Mello JM, Ferreira MZ, Lisboa PMM, Scolforo JRS (2010) Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus sp.* *Cerne*, 16(1): 22-31. doi:10.1590/S0104-77602010000100003
- Rocha TB, Cabacinha CD, Almeida RC, Paula A, Santos RC (2010) Avaliação de métodos de estimativa de volume para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no Planalto da Conquista-BA. *Enciclopédia biosfera*, 6(10): 1-13.