

Ajuste de modelos hipsométricos em povoamento de *Eucalyptus* sp. no Cerrado amapaense

Autores:

André Ricardo dos Santos Pereira

Mestre. Universidade do Estado do Amapá - UEAP

José Natalino Macedo Silva

Doutor. Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Marcos Renato Dantas de Almeida

Mestre. Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Fernando Galvão Rabelo

Doutor. Universidade do Estado do Amapá - UEAP

Jadson Coelho de Abreu

Doutor. Universidade do Estado do Amapá - UEAP

Márcio Assis Cordeiro

Mestre. Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO

Robson Borges de Lima

Doutor. Universidade do Estado do Amapá - UEAP

Renan de Sousa Lima

Engenheiro Florestal. Instituto Macapaense de Melhor Ensino Superior - IMMES

DOI: 10.58203/Licuri.20416

Como citar este capítulo:

PEREIRA, André Ricardo dos Santos et al. Ajuste de modelos hipsométricos em povoamento de *Eucalyptus* sp. no Cerrado amapaense. In: ANDRADE, Jaily Kerller Batista (Org.). **Estudos em Ciências Biológicas e Florestais**. Campina Grande: Licuri, 2023, p. 68-76.

ISBN: 978-65-85562-04-1

Resumo

O presente trabalho foi realizado numa área de floresta plantada no município de Porto Grande-AP, com objetivo de realizar o ajuste de equações hipsométricas de um povoamento clonal de *Eucalyptus* sp. Foram utilizadas para esse trabalho dados provenientes de cubagem rigorosa obtidos pela aplicação da fórmula de Smalian, das quais foram coletadas diâmetro a 1,30m do solo (DAP), Altura Total (Ht). O processo de amostragem foi sistemático. Foram abatidas 1.130 árvores com o dap variando de 8 a 30 cm e altura de 11 a 34m. Para o ajuste, foram selecionado 7 modelos (5 aritméticos e 2 logarítmicos) realizada a comparação entre modelos para definir a escolha do melhor modelo a ser aplicado para as estimativas do altura de árvores do povoamento. Os referidos modelos testados foram Linha Reta, Azevedo (1999), Hericksen, Hiperbólica, Parabólico, Ln Stoffels, Ln Cutis. Os critérios estatísticos adotados para escolha da melhor equação a ser aplicado foram: Coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), erro padrão da estimativa (S_{xy}), DMP%= Desvio médio padrão percentual, FCM= fator de correção de Meyer para corrigir os modelos logarítmicos. Os modelos de Linha Reta e Parabólico, apresentaram valores estatisticamente superiores aos restantes do modelos testados.

Palavras-chave: Regressão. Cubagem Rigorosa. Modelos hipsométricos.

INTRODUÇÃO

O estado do Amapá possui uma faixa litorânea, estando nela presente o bioma cerrado que compreende cerca de 6% da cobertura do estado no qual totaliza uma área de 986.189 hectares (IBGE, 2010). O cerrado amapaense começou a ser ocupado em 1976, hoje possui uma área de aproximadamente 50.000 hectares de plantios do gênero *eucalyptus* sp. que são pertencentes a empresa AMCEL - Amapá Florestal e Celulose S.A, que tem como objetivo a produção de madeira em forma de cavaco para abastecimento da indústria de papel e celulose, onde que no ano de 2011, chegou ao produzir cerca de 110.356 m³ de cavaco de madeira para exportação (FSC, 2009).

Nesse contexto, o conhecimento do volume de madeira dessas áreas torna-se imprescindível para o planejamento adequado desse recurso e, como consequência, para o fortalecimento do setor florestal na região. Para a obtenção de estimativas de volume de povoamentos florestais, a altura das árvores é uma informação fundamental. Essa variável pode ser obtida por meio de medições de árvores em pé ou abatidas, com uso de hipsômetros e trenas, ou através de estimativas com o estabelecimento de relações hipsométricas (relação entre altura e diâmetro) (SCOLFORO, 1998).

De acordo com Souza (2006), a estimativa de altura das árvores é uma tarefa onerosa e sujeita a grandes erros, por isso em inventários florestais se mede a altura de algumas árvores nas parcelas e, empregando-se a relação hipsométrica se estimam a altura das demais. A estimação indireta da altura da árvore é uma componente de especial importância para a determinação do volume individual da árvore e, conseqüentemente, para a determinação do volume do povoamento TOMÉ, et al. (2007). Esse procedimento é feito a partir da medição do DAP de todas as árvores da parcela e da mensuração da altura de algumas árvores, geralmente, de cinco a dez, em que, a partir dos dados coletados se constrói uma curva altura - diâmetro, com a finalidade de estimar a altura das demais árvores da parcela em que apenas o diâmetro é medido, (BATISTA et al. 2001).

Diversas variáveis podem influenciar a relação hipsométrica, dentre elas: idade, região de plantio, variação genética, tratos silviculturais, sistema de amostragem, densidade, tamanho da copa, posição sociológica e o regime de manejo adotado. Dessa forma, existem equações que se adaptam melhor a uma determinada condição do que

outras, havendo, em alguns casos, dificuldade em se definir que modelo deve ser utilizado (RIBEIRO, 2008). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma equação para estimar a altura de povoamentos de *Eucalyptus* sp., usando modelagem matemática.

METODOLOGIA

A área de estudo está localizada em Porto Grande - AP, nos hortos florestais denominados de: Onça, Pedreira e Peixe-Boi com área total de 109,23ha do principal “bloco” de plantio, (Latitude: 0.85376, Longitude: -51.1941/ 0° 51’ 14” Norte, 51° 11’ 39” Oeste- Altitude de 4m.

A Classificação climática de Köppen-Geiger: Am) Altitude de 35m, “tropical superúmido”. A precipitação anual média de 3.250 mm de chuvas anuais, umidade anual gira em torno de 85% (INMET, 2013).

Os solos apresentam as classes de solos com horizontes B latossólicos, como os Latossolos Amarelos (FSC, 2009).

Amostragem

Foram coletadas 1.131 árvores-amostra de *Eucalyptus urograndis*, onde foram cubadas em sessões absolutas, e calculadas segundo a fórmula proposta por Smalian.

$$V_i = g_1 + g_{n-1} + 2 * (g_2 + g_3 + g_4 + \dots + g_{n-2}) + \left(\frac{g_{n-1} + g_n}{2}\right) * Ln$$

Onde,

V_i = volume do fuste da árvore i , em m^3 ;

g_1 = área transversal na secção i , em m^2 ;

Ln = comprimento total do fuste, em metros.

Nas árvores selecionadas, quando ainda em pé, foram medidos os DAP, e após o corte, foram realizadas medidas de cubagem rigorosa nas marcação das mensurações nas seguintes medidas ao longo do fuste: 0cm (Base); 0,5cm; 1m; 2m; 4m; 6m; 8m...até o

diâmetro de 4cm. Para medir o diâmetro foi usado a (suta florestal). Além das medidas dos diâmetros, foi coletado a altura total da árvore com uma trena de (50m).

Equação de volume

Com a obtenção dos dados de DAP e HT das árvores amostra, foi realizado o ajuste dos modelos matemáticos para a estimativa da altura. Foram testados oito modelos hipsométricos de simples entrada (três logarítmicos e cinco aritméticos, onde as variável independente foi o DAP, todos os modelos foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários). Os modelos matemáticos utilizados para o ajuste, foram baseados em Azevedo (2009). Para o processamento dos dados foi utilizado o software Excel 2007.

Tabela 1. Modelos matemáticos testados para estimativa do altura de *Eucalyptus* sp.

N	Modelo	Designação-Autor
1	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon$	Linha reta
2	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Azevedo et al (1999)
3	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$	Henricksen
4	$= \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{DAP}\right)^2 + \varepsilon$	Hiperbólico
5	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Parabólico
6	$\ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln DAP + \varepsilon$	Stoffels
7	$\ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{DAP}\right) + \varepsilon$	Curtis

H = altura total (m); d = diâmetro a 1,30 m do solo; e β_0 , β_1 , β_2 = coeficientes de regressão.

Análise de dados

Para seleção do melhor modelo foram observados os seguintes critérios estatísticos de escolha: R^2_{aj} , $S_{xy}(\%)$: O erro padrão da estimativa, $S_{y_{xr}}\%$ = erro padrão da estimativa recalculado em (m³); Fator Meyer.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A realização da cubagem rigorosa foi feita em uma área localizada em Porto Grande - AP, nos hortos florestais denominados de: Onça, Pedreira e Peixe-Boi com área total de 109,23 ha do principal “bloco” de plantio foram amostrados um total de 1.130 árvores com DAP variando de 8 a 30 cm e altura total de 11,4 a 34,1m. A distribuição das árvores por classe diamétrica, assim como o número de árvores cubadas em cada classe, estão apresentadas na tabela 1.

Um aspecto importante em florestas plantadas, no que diz respeito a sua distribuição por classe de tamanho, Toras com diâmetro abaixo de 8cm podem ser destinadas para energia, na utilização de lenha por exemplo, ou como estacas. A maiores que 8 cm são utilizadas nas fabricas de celulose e papel.

Tabela 2. Valores dos coeficientes dos modelos hipsometricos ajustados para um povoamento de *Eucalyptus* sp. no cerrado amapaense.

N	Modelo	B0	B1	B2
1	Linha reta	6,4108	0,9558	-
2	Azevedo et al (1999)	13,4187	0,0299	-
3	Henricksen	-15,2631	13,4937	-
4	Hiperbólico	26,1915	-992,194	-
5	Parabólico	4,6052	1,2112	-0,0083
6	Stoffels**	1,1864	0,6837	-
7	Curtis**	3,6452	-8,8138	-

B0, B1, B2 = coeficientes da regressão.

A maioria dos modelos ajustados apresentou valores de coeficientes de determinação ajustado (R^2_{aj}) inferiores a 80%. Campos e Leite (2006) afirmam que se tratando de relação hipsométrica e comum que o valor de R^2_{aj} não ultrapasse 80%, isto porque, a correlação altura/diâmetro não é tão forte quanto á relação altura/volume. Não o bastante para este estudo seis modelos (1-Linha reta, 2-Azevedo, 3-Henricksen, 5-Parabólico, 6-Stoffels, 7-Curtis) mostraram de R^2_{aj} superiores a 80%, indicando um

elevado grau de explicação das variáveis dependentes pelas variáveis independentes dos modelos.

Tabela 3. Valores dos parâmetros de precisão, para um povoamento de *Eucalyptus* no cerrado amapaense.

N	Modelo	F	R ² Aj	Sxy	Syx%	DMP%	FCM
1	Linha reta	6387,46	0,8497	1,6216	8,2754	-0,795	-
2	Azevedo et al (1999)	4809,88	0,8098	1,8244	9,3100	-1,111	-
3	Henricksen	5955,52	0,8406	1,6703	8,5240	-0,699	-
4	Hiperbólico	3024,05	0,7280	2,1817	11,1336	-1,006	-
5	Parabólico	3239,45	0,8515	1,6119	8,2260	-0,749	-
6	Stoffels**	5738,45	0,8355	0,0862	2,9201	-0,371	1,6121
7	Curtis**	5032,28	0,8167	0,0910	3,0830	-0,004	1,7489

F=valor calculado do teste F; R²aj=coeficiente de determinação ajustado; Sxy=erro padrão da estimativa; Syx%=erro padrão da estimativa em porcentagem; DMP%=desvio padrão percentual; FCM=fator de correção de Meyer.

Batista et al. (2001) estudando a relação hipsométrica em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, aos seis anos de idade, no município de Anhembi, Estado de São Paulo, observaram valores um pouco inferiores de R²aj em relação a este estudo, para os modelos Linha reta (73,4%), Parabólico (78,0%), Stoffels (75,4%), Curtis (78,8%), Henriksen (78,8) e Hiperbólico (78,7%).

Resultados satisfatórios foram encontrados por Azevedo et al. (2011) observaram valores semelhantes de R²aj. aos deste estudo, para os modelos Linha reta (80,0% e 87,0%), Parabólico (81,0% e 88,0%), Stoffels (84,0% e 90,0%) e Henriksen (77,0% e 84,0%), para os povoamentos de *Eucalyptus cloeziana* e de híbrido de *Eucalyptus urophylla* vs. *grandis*, respectivamente, aos 18 meses de idade, em Planaltina, Distrito Federal.

Outro estudo semelhante a este foi realizado por Santos et al. (2014) estudando a relação hipsométrica de um plantio do híbrido (*Eucalyptus urophylla* vs. *Eucalyptus grandis*) aos seis anos de idade no município de Moju no estado do Pará, mas diferentemente observaram valores inferiores em relação a este estudo para os modelos

de Linha reta (28,68%), Parabólico (28,88%), Henriksen (29,52%) Curtis (31,57%), Stofells (30,91%) e Hiperbólico (80,60%). Contudo destaca-se a superioridade do modelo Hiperbólico, corroborando com este trabalho.

Os estudos de relação hipsométrica para o gênero *Eucalyptus* mencionados anteriormente (Batista et al. 2001; Azevedo et al. (2011); Santos et al. 2014) reportaram valores superiores de $Syx\%$ para todos os modelos comuns a este estudo. Azevedo et al. (2011) observaram valores de $Syx\%$ que variaram entre 10,0% e 30,0%. Batista et al., (2001) observaram valores de $Syx\%$ que variaram entre 5,0% e 10,0%.

Os valores de desvio médio percentual (DMP%) mostraram-se com baixa dispersão entre os modelos ajustados, variando entre -0,004% a -1,111%. Os modelos (1-Linha Reta, 2-Henricksen, 5-Parabolico, 6-Stoffels, 7-Curtis) mostraram melhores resultados de DMP, cujos valores foram abaixo de $\pm 1\%$.

De acordo com Batista et al. (2001), a representação da curvatura da relação altura-diâmetro por estes modelos é bastante artificial, com extrapolação ligeiramente fora da amplitude da amostra, resultando em grandes erros nas estimativas. Rufino et al. (2010), também reportaram uma leve tendenciosidade em superestimar os valores observados de DAP e altura, sendo esta tendenciosidade mais acentuada nos modelos de Stoffels e Linha Reta. Soares et al. (2004) reportaram para os modelos selecionados (Henriksen, Parabólico, Stoffels) porém não verificaram a ocorrência de tendências em superestimar ou subestimar a variável altura total em função da variável DAP.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos de relação hipsométrica Parabólico ($H = 4,6052 + 1,2112 * DAP + 0,0083 * DAP^2$) e Linha Reta ($H = 6,4108 + 0,9558 * DAP$) mostraram as melhores medidas de precisão para a relação altura- diâmetro, com pequena vantagem para o Parabólico devido ao seu menor valor de erro padrão da estimativa. Portanto, ambos os modelos se mostraram apropriados para a estimativa da altura de povoamentos de *Eucalyptus* sp. no Cerrado amapaense.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, T. L. de.; Ajuste de equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp, localizado na Floresta Nacional do Ibura. Monografia (Bacharel, Engenharia Florestal). Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, SE, 49 f. 2009.

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.

BATISTA, J. L.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: 436 estudo em três tipos de floresta. Scientia Forestalis. n. 60, p. 149-163, dez. 2001.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Mensuração Florestal: perguntas e respostas. Viçosa: UFV, 407 p. 2006.

FSC, Avaliação do manejo florestal das plantações florestais e cadeia de custódia, no processo de certificação da AMCEL-Amapá Florestal e Celulose. Relatório Técnico, 73p. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. 2010. <http://www.ibge.br/sidra/> (último acesso em 25/07/2019).

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Climas, Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>>. Acessado dia 31 de agosto de 2013.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; Diferentes estratégias de ajuste de modelo hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* spp. In: Simpósio Latino-Americano Sobre Manejo Florestal, 4, 2008, Santa Maria - RS. Anais... Santa Maria : UFSM, 2008. v. 4. p.16-22, 2008.

RUFINO, R.F.; MIGUEL, E.P.; SANTOS, G.A.; SANTOS, T.E.B.; SOUZA, F. Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucaliptos conduzido sobre o sistema de rebrota. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, vol. 6, n.10, P. 1-10, 2010.

SANTOS, M. L.; BRASIL NETO, A. B.; PAUMGARTTEN, A. É. A.; RODRIGUES, R. P.; SANTOS, C. R. 512 Estimativa da relação hipsométrica para um povoamento de *Eucalyptus* "urograndis" no município de Moju, nordeste paraense. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19. p.1039-1048, 514 2014.

SOARES, T.S.; SCOLFARO, J.R.S.; FERREIRA S.O.; MELLO, J.M. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. Revista Árvore, Viçosa-Mg, v.28, n.6, p.845-854. 2004.

SOUZA, C.A.M.; ALMEIDA, A.Q.; ALMEIDA, V.V.S.; SILVA, G.F. Comparação entre modelos de relações hipsométricas para estudo de uma floresta de *Eucalyptus urophylla*. X Encontro latino-americano de iniciação científica e VI Encontro latino americano de pós graduação. Universidade do Vale do Paraíba, p. 2850-2853. 2006.

TOMÉ, M.; RIBEIRO, F.; FAIAS, S. Relação hipsométrica geral para *Eucalyptus globulus* Labill. em Portugal. *Silva Lusitana*, v.15, n.1, p.41-55 2007.