



Modelagem Hipsométrica em Povoamentos Híbrido Clonal de *Eucalyptus*

Hypsometric modeling Hybrid Clonal *Eucalyptus* Stands

Eder Pereira Miguel¹, Lázara Daniela Dias Silva², Geislaine Ferreira Paniago², Othon Lauer Godinho², Henrique Akio Ono², Maria Luisa Pegorato², Aguiinaldo José Freitas Leal³, Jacqueline Pirez⁴

¹ Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Campus Darcy Ribeiro, Brasília-DF, BR.
E-mail: miguelederpereira@gmail.com

² Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, Chapadão do Sul-MS, BR.

³ Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Campus Iturama, Iturama-MG, BR.

⁴ Reichert Agropecuária Ltda., Fazenda Campo Bom, Chapadão do Sul – MS, BR

Recebido em: 01/07/2014

Aceito em: 21/10/2017

Resumo: Este estudo foi realizado em um plantio híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 1528 (Super Clone), da Arcelormittal com três anos de idade e espaçamento 3 x 2,5 m, provenientes de um plantio localizado na Fazenda Campo Bom pertencente ao Grupo FCB Empresas Ltda situada, em Chapadão do Sul – MS. O objetivo do presente estudo foi testar modelos hipsométricos e analisar as estatísticas de ajuste e precisão a fim de selecionar a melhor equação para a obtenção da variável altura total. No total foram ajustados nove modelos hipsométricos, sendo estes os mais usuais no meio florestal. A base de dados foi obtida por meio de 51 parcelas de 420 m² cada (20m x 21m), de forma permanente em uma área total de 70,3 hectares de floresta plantada do Super Clone, onde foram medidos os diâmetros a 1,30m do solo (DAP) de todas as árvores que compunham cada parcela, mediu-se também a altura das 15 primeiras árvores em cada parcela, mais a altura das cinco árvores dominantes pelo princípio de Assmann, visando à obtenção da altura total. As equações selecionadas foram avaliadas com base nos seguintes critérios para sua seleção: Coeficiente de Determinação Ajustado (R².ajust.), Erro Padrão da Estimativa (Syx), e Gráfico de Resíduos. Os resultados apontaram uma ligeira superioridade no modelo de Curtis para estimativa da altura total.

Palavras-chave: Altura total, equações hipsométricas, inventário florestal.

Abstract: This study was performed in a hybrid clonal plantation of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* clone AEC 1528 (Super Clone) of Arcelormittal with three years of age and spacing 3 x 2.5 m , from a plantation located in Campo Bom Farm belonging the Group FCB Enterprises Ltd. located in Chapadão do Sul - MS . The aim of this study was to test hypsometric models and analyze the statistics of fit and precision in order to select the best equation for obtaining the total height variable. In total nine hypsometric models, which are the most common in forests were adjusted. The database was obtained by means of 51 plots of 420 m² each (20m x 21m), permanently on a total area of 70,3 hectares of forest planted Super Clone, where the diameters were measured at 1.30m (DBH) of all trees that comprised each plot also measured the height of the first 15 trees in each plot, plus the height of the five dominant trees by Assmann principle in order to obtain the total height. The selected equations were assessed against the following criteria for selection: Coefficient Adjusted determination (R².ajust.), Standard error of estimate (Syx), and graph Waste. The results indicated a slight superiority in the Curtis model to estimate the total height.

Keywords: Total height, hypsometric equations, forest inventory.

Introdução

As variáveis dendrométricas (diâmetro, altura, volume e área basal) disponibilizam diversas informações que esclarecem possíveis metas comerciais e parâmetros florestais, isso

explica o fato destas variáveis serem tão importantes para os inventários florestais. (Jesus et al. 2012).

Dentre a obtenção das variáveis, a altura em campo é um atributo de difícil medição e





quando determinada para todos os indivíduos por hipsômetros sob condições inadequadas de visibilidade de copa, topografia, e sub-bosque, pode acarretar procedimentos demorados e de alto custo, além de erros graves, proporcionando aumento do viés no inventário. Logo, a utilização das relações hipsométricas se torna uma atividade trivial.

A relação hipsométrica é amplamente utilizada em inventários florestais, através de modelos matemáticos lineares e/ou não lineares. Apesar de ser influenciada por fatores biológicos como a estrutura da floresta, o material genético, a densidade, o tamanho da copa, a qualidade do sítio, a idade e o desenvolvimento da floresta, a relação hipsométrica visa facilitar e/ou diminuir o custo e o tempo na obtenção da variável altura.

A relação hipsométrica ou curva h/d, é obtida a partir da medição de pares de diâmetro e altura dentro de cada parcela, com o intuito de estimar as demais alturas das árvores que não foram obtidas à referida variável em campo, em função da morosidade e onerosidade do processo. A escolha das árvores a serem medidas seguem critérios e cuidados especiais, na qual a inocência do processo deve ser levada em conta de forma fidedigna, todavia, pares de diâmetro e altura devem ser mensurados em todas as classes de diâmetros.

Quanto ao tamanho da amostra, Miguel (2009) corroborado por Rufino et al., (2010), afirmou que o número de árvores para determinação de uma relação hipsométrica, é influenciada diretamente pela heterogeneidade que os povoamentos apresentam, e por mais homogêneo que seja uma quantidade mínima de pares de altura/diâmetro devem ser amostradas e, geralmente, este valor está acima de trinta pares de diâmetro/altura por hectare.

Quando se trabalha com relações hipsométricas, se faz jus à utilização das técnicas de regressão. A regressão da altura sobre o diâmetro é obtida por ajustes matemáticos, em que a variável Y (altura) irá depender de uma variável independente X (diâmetro), essa expressão é

conhecida como função, sendo que, na regressão, estima-se o relacionamento estatístico entre as variáveis, expressando-se como funções lineares e/ou não lineares (Scolforo, 2008).

O uso de relações hipsométricas em inventários florestais vem se afirmando cada vez mais como uma operação rotineira para estimar a altura e também para cálculo de volume. Assim, tendo dito a praticidade da utilização dos modelos hipsométricos, no gênero *Eucalyptus*, vários modelos estatísticos já foram testados e utilizados em empresas florestais e cada povoamento, deve ter seus modelos específicos, e quando isso não for possível se faz necessário à utilização de uma equação desenvolvida pelos menos ao nível de região (Rufino et al., 2010).

A falta de estudos desta magnitude é notória no estado do Mato Grosso do Sul, principalmente na região nordeste do estado, aonde os plantios do gênero *Eucalyptus* vem ganhando espaço, alavancados pela presença de grandes Indústrias de celulose no estado aumentando a demanda de madeira desta espécie.

Diante do exposto, este trabalho objetivou o ajuste, a comparação e a seleção de modelos lineares e não lineares para obtenção da variável altura em um povoamento híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, localizado no município de Chapadão do Sul, região do Nordeste do estado do Mato Grosso do Sul.

Material e Métodos

Os dados utilizados para desenvolver o estudo foram obtidos em um plantio híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 1528 (Super Clone), da Arcelormittal com três anos de idade e espaçamento 3 x 2,5 m, provenientes de um plantio localizado na Fazenda Campo Bom pertencente ao Grupo FCB Empresas situada, em Chapadão do Sul – MS, a uma altitude média de 810 metros, compreendido entre as coordenadas 18°47' de latitude Sul e 52°37' de longitude Oeste (Figura 1).

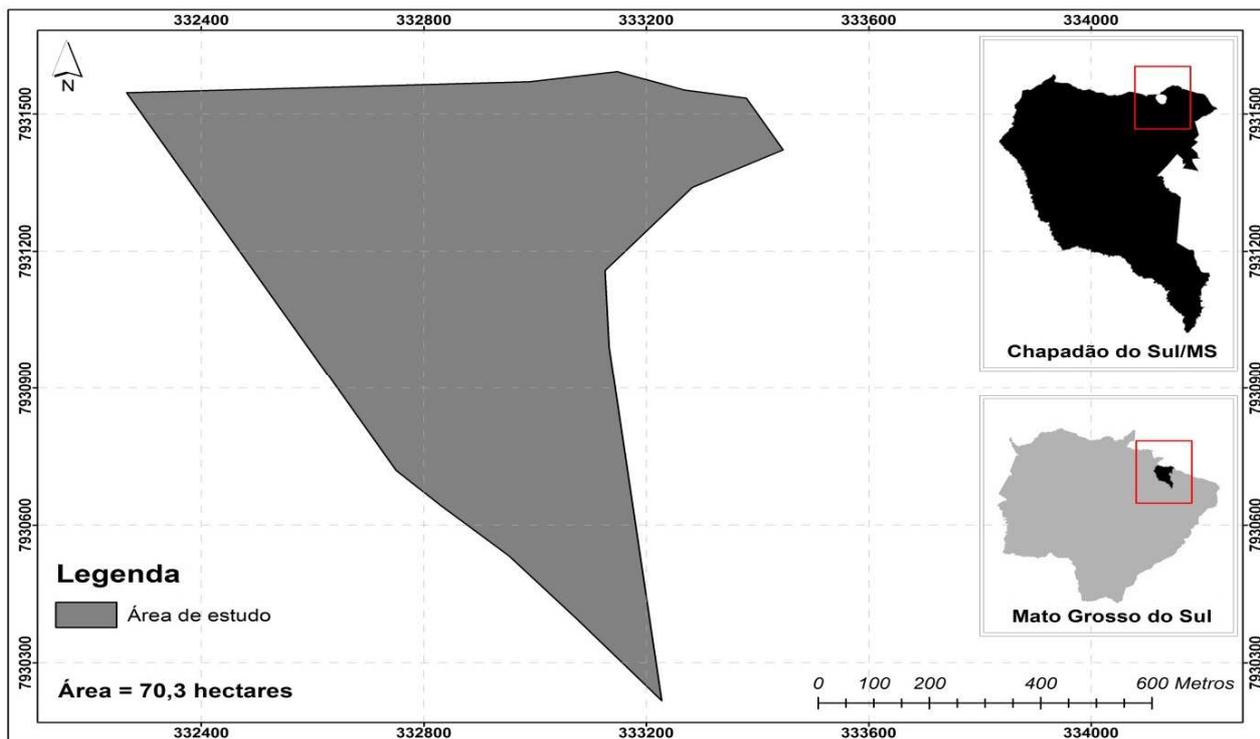


Figura 1. Localização da área de estudo.

Os solos são normalmente muito profundos ou profundos, com sequência de horizontes A, B e C e com transições entre os subhorizontes difusas e graduais. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (2009), na região predomina o Latossolo Vermelho Distrófico com altos teores de argila, textura média e relevo plano, ondulado. O clima segundo classificação de Köppen é o (Aw) caracterizado como tropical úmido, com duas estações bem definidas, seca no inverno e chuvosa no verão, com uma temperatura média entre 13 à 28°C e precipitação anual entre 1850 mm.

Utilizando uma trena foram lançadas e demarcadas 51 parcelas de 420 m² cada (20m x 21m), de forma permanente em uma área total de 70,3 hectares de floresta plantada do Super Clone. Foi utilizado o Método da Área Fixa e o processo de amostragem adotado foi o sistemático, na qual as parcelas estão equidistantes 90 metros umas das outras.

Depois de estabelecida às parcelas foram obtidas as variáveis diâmetro e altura total (Ht). Para medição do diâmetro utilizou-se uma fita métrica e estes foram mensurados a 1,30m do solo (DAP), de todas as árvores que compunham as 51

parcelas. A determinação das alturas das árvores por meio de aparelhos hipsométricos é uma operação onerosa, sendo comum medir-se a altura de algumas árvores em cada parcela amostra e empregando-se modelos de hipsométricos, estimar a altura das demais (Encinas et al., 2002). Todavia com um Suunto, mediu-se a altura das 15 primeiras árvores em cada parcela, e a altura das cinco árvores dominantes pelo princípio de Assmann, que define a altura dominante como sendo a média aritmética das 100 árvores mais grossas por hectare.

Sequencialmente com a utilização do Microsoft Excel, e o Programa Estatístico Statgraphics Centurion, foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários, nove modelos hipsométricos, conforme Tabela 1.

Na escolha da melhor equação ajustada para a estimativa da variável altura total foram adotados os critérios tradicionais utilizados na verificação da qualidade do ajuste, ou seja: Coeficiente de Determinação Ajustado (R².ajustado), Erro Padrão da Estimativa absoluto e em porcentagem (Syx%) e Análise Gráfica dos Resíduos (Drapper e Smith, 1981).

Tabela1. Modelos hipsométricos ajustados para a estimativa da variável altura total.

Autor	Modelo	Número
Trorey	$Ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	1
Linha Reta	$Ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP$	2
Stoffels	$Ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 * Ln(DAP)$	3
Curtis	$Ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP}$	4
Prodan	$Ht = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2}$	5
Chapman & Richards	$Ht = \beta_0 * (1 - e^{\beta_1 * DAP})^{\beta_2}$	6
Petterson	$Ht = \frac{1}{(\beta_0 + \frac{\beta_1}{DAP})^3}$	7
Bailey & Clutter	$Ln(Ht) = \beta_0 - (\beta_1 * (\frac{1}{DAP})^{\beta_2})$	8
Spillman	$Ht = \beta_0 * (1 - e^{\beta_1 * DAP})$	9

Onde: Ln= logaritmo natural; Ht =altura total da árvore (m); DAP=diâmetro a altura do peito (cm); β_0 ; β_1 ; β_2 ; β_3 = coeficientes a serem obtidos

Resultados e Discussão

A Figura 2, apresenta a correlação entre as variáveis DAP e Altura Total. Observa-se uma correlação moderada entre estas variáveis (0,67). De acordo com Bartoszeck (2002), Barros et al. (2002) e Rufino et al. (2010) fatores como idade, desbaste, sitio, material genético e sistema da

condução do povoamento podem interferir na relação entre o diâmetro e a altura. Todavia o fato do povoamento ser jovem (3 anos), indica que esse valor é satisfatório, uma vez que a correlação altura diâmetro tende a aumentar com o avançar da idade em povomamento florestais.

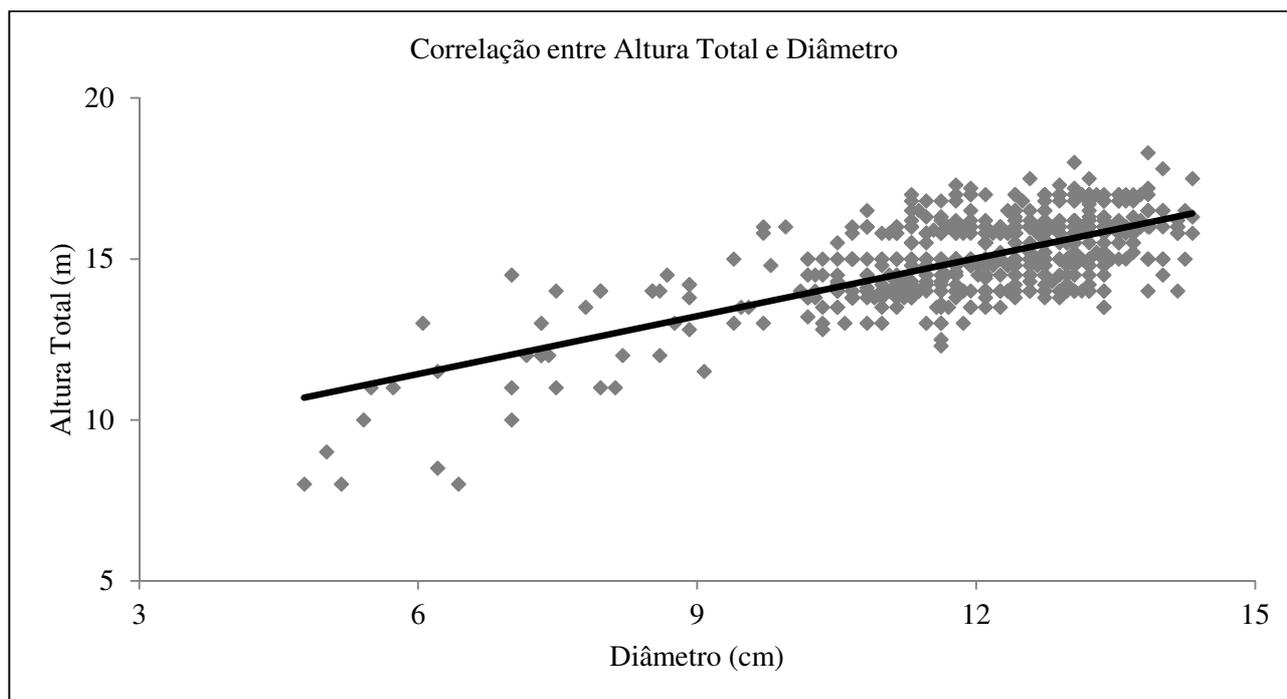


Figura 2. Correlação simples (R) entre Altura Total e Diâmetro

Entende-se por ajuste, a estimativa ou obtenção dos coeficientes de um modelo associada a uma variável, na Tabela 2, é possível observar os coeficientes dos modelos hipsométricos ajustados, para a obtenção da estimativa da variável altura total, em função do DAP, bem como os valores

estatísticos de ajuste e precisão. Na referida Tabela, ficam evidenciados valores elevados para a estatística F em todos os modelos, logo existe regressão entre as variáveis. Assim a altura poder ser explicada pelo o diâmetro.

Tabela 2. Resultado dos coeficientes estimados para os modelos hipsométricos testados e as estatísticas de ajustes e precisão.

Nº	β_0	β_1	β_2	R^2	R^2 .Ajustado	Syx	Syx%	F
1	2,69997	2,60370	-0,04730	0,55	0,54	0,97	6,44	298**
2	7,82646	0,59970	-	0,54	0,53	0,99	6,60	547**
3	1,54220	0,46988	-	0,53	0,55	0,98	6,52	712**
4	3,08244	-4,42407	-	0,61	0,60	0,95	6,35	766**
5	0,71581	0,16581	0,04736	0,52	0,55	0,97	6,44	5150**
6	15,2184	-20,83120	0,01029	0,42	0,39	1,07	7,11	4225**
7	0,35418	0,60390	-	0,54	0,53	0,97	6,44	7734**
8	32,5726	-30,8106	0,01255	0,37	0,34	0,99	6,56	2385**
9	18,3463	-0,14470	-	0,54	0,53	0,97	6,44	7721**

Onde: β_i 's= coeficientes ajustados; R^2 =coeficiente de determinação; R^2 .ajustado= coeficiente de determinação ajustado; Syx= erro padrão da estimativa em metros; Syx%= erro padrão da estimativa percentual; F= F calculado ($\alpha=0,01$); **= significativo para $\alpha=0,05$

Em uma análise inicial dos resultados, observa-se que as equações apresentaram resultados semelhantes com base no coeficiente de determinação ajustado (R^2 .ajustado), com exceções aos modelos 6 e 8 que apresentaram valores 0,39 e 0,34, respectivamente. As demais equações apresentaram ajuste, com valores que variaram de 0,53 a 0,60, indicando a variação percentual da variável dependente que é explicada pela variável independente e suas combinações.

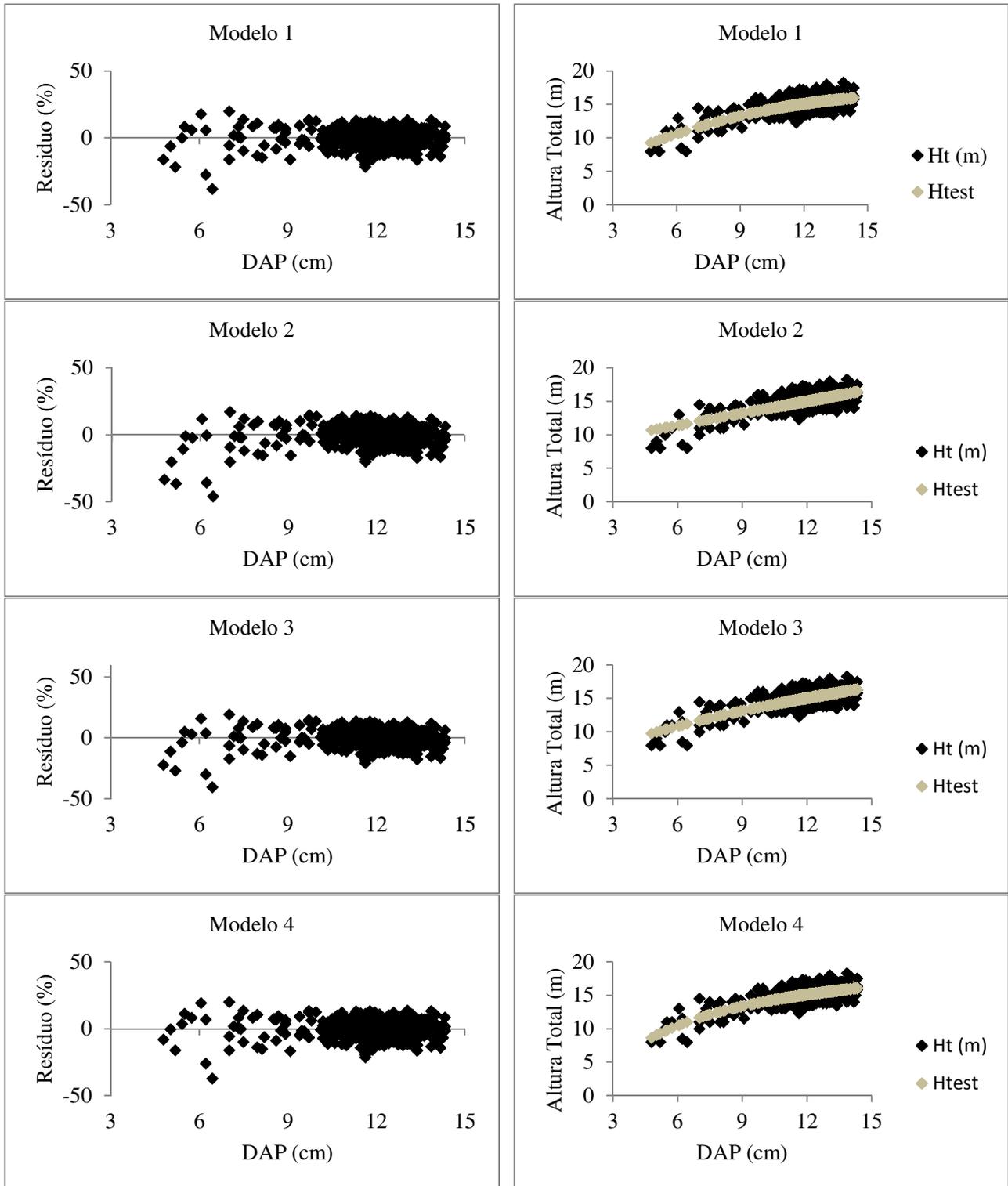
Ao se abordar equações hipsométricas, o R^2 .ajustado dos referidos modelos avaliados podem ser consideradas satisfatórias, onde diversos pesquisadores como (Finger, 1992; Campos e Leite, 2013; Miguel, 2009), afirmam que raramente este valor em condições totalmente favorável passará de 0,75. Neste caso, vale ressaltar que uma melhoria desta estatística poderá ser obtida com avançar da idade. O melhor ajuste neste quesito para o referido trabalho foi observado na equação 4 com um valor de 0,60.

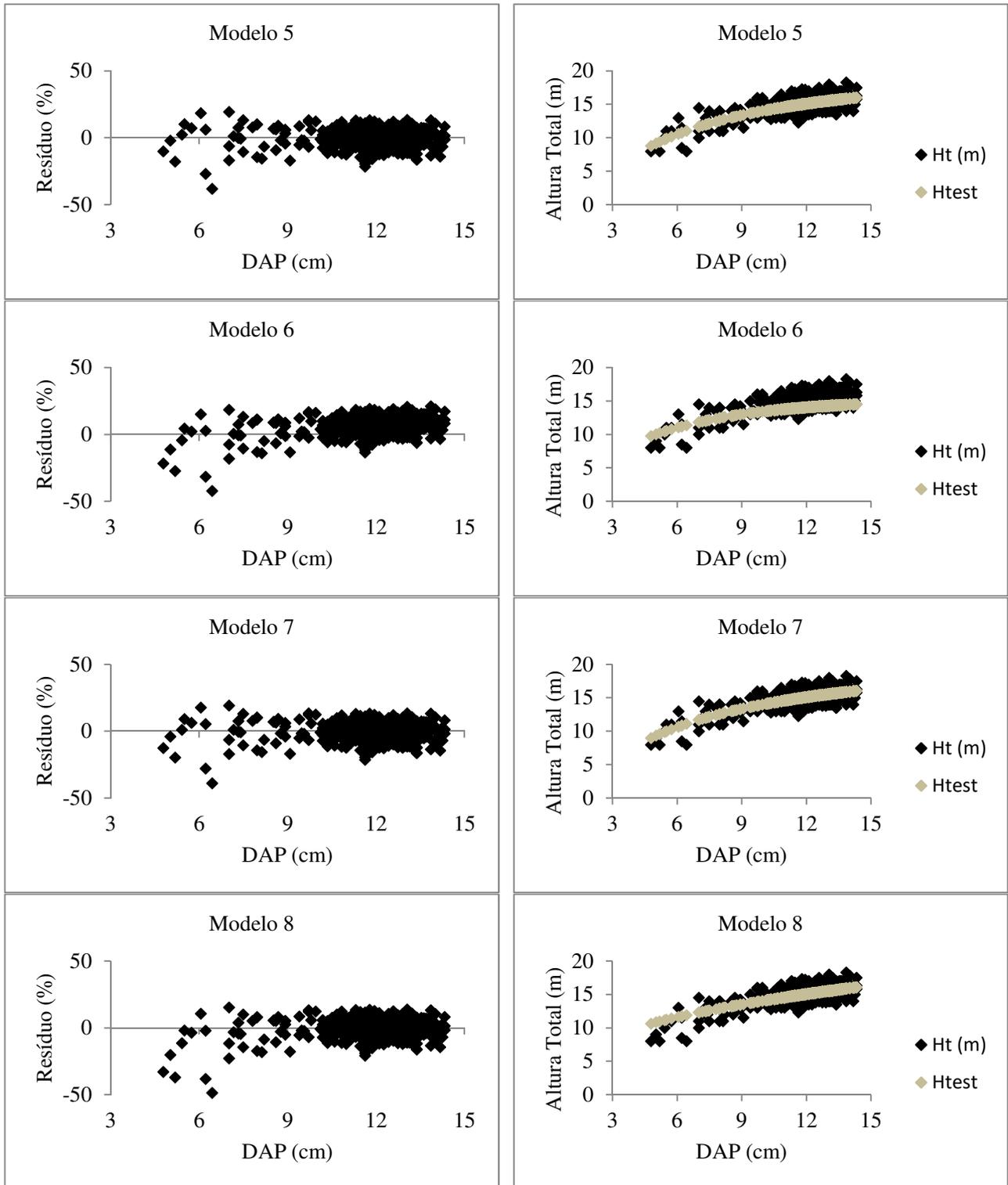
Com relação ao erro padrão da estimativa (Syx), os resultados indicam desempenho semelhante para esta estatística entre todas as equações, com valores oscilando entre 0,95 a 1,07 metros (6,38 e 7,11 %). Estes valores sugerem um

ajuste confiável, uma vez que o erro associado à estimativa da altura verdadeira é inferior a 10% em todos os modelos. Segundo Miguel (2009) erros inferiores a 10 % para estimativa da variável altura é desejável, embora nem sempre possível, já Scolforo (2008) afirmou que bons ajuste hipsométricos precisam ficar com valores inferiores a 1,00 metro, resultado este alcançado por todos os modelos, com exceção do modelo 6.

Como quesito fundamental na escolha de uma equação de regressão aplicada a Ciências Florestais, realizou-se a análise gráfica para constatação da distribuição dos resíduos da regressão de cada equação, uma vez que erros de tendência podem ocorrer em determinada amplitude de classe da variável independente, sem ser detectados pelas estatísticas que medem a exatidão, conforme apresentado na Figura 03.

Na Figura 3, observam-se as dispersões dos resíduos em percentagem em função do Dap, assim como o comportamento do modelo ajustado em relação à altura real. Esta estatística demonstra o quão o modelo é preciso e ao mesmo tempo permite analisar possíveis tendências de superestimativas ou subestimativas na variável de interesse.





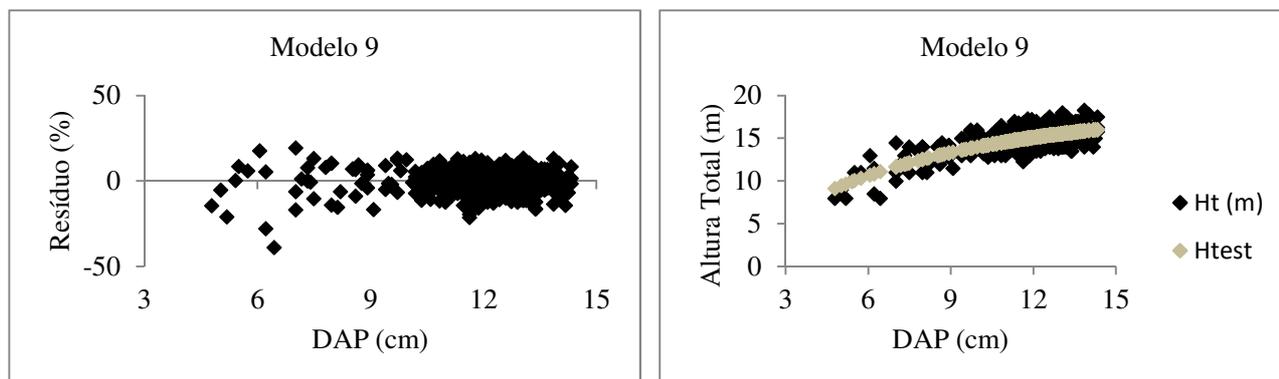


Figura 3. Distribuição gráfica dos resíduos de Altura Total em função do DAP e linhas de tendência da Altura Total em função do DAP para os modelos ajustados.

Analisando a Figura 3, a qual apresenta o diagrama de dispersão dos dados de altura total em relação ao DAP, e com base em informações advindas da literatura florestal (Drapper e Smith, 1981; Scolforo, 2008), espera-se que a linha de ajuste apresente uma tendência consistente em relação à proporcionalidade de variação entre as duas variáveis.

Nos gráficos de resíduos das equações, observa-se uma dispersão semelhante para todas as equações, com uma ligeira tendência de superestimar a altura das árvores de menor diâmetro. Essa ligeira tendenciosidade é observada de forma mais acentuada nos modelos 2, 6 e 8.

Todavia, em todos os modelos ajustados, o erro de hora superestimar, ou subestimar a altura verdadeira estiveram compreendidos entre 20 a -50%. Também foi possível observar de maneira bastante minuciosa que os modelos 1, 3, 4, 5, 7 e 9 apresentaram-se ligeiramente mais favoráveis aos demais. Pois nestes modelos percebeu-se uma maior homogeneização dos resíduos ao longo da linha de regressão.

Com relação aos gráficos de tendência das linhas de ajuste, observa-se que com exceção das equações 2, 3, 6 e 8 que apresentaram uma tendência linear, as demais equações apresentaram uma tendência exponencial, correspondendo ao esperado para povoamentos florestais, conforme visualizado na Figura 03. Com base nestas análises de distribuição residual e tendência de ajuste, as equações pré-selecionados foram: 1, 4, 5, 7 e 9.

Quando analisadas as estatísticas que medem a exatidão, as mesmas levaram a uma ligeira superioridade do modelo 4 (Curtis). A superioridade do modelo de Curtis está em consonância com a literatura, onde distintos pesquisadores como, por exemplo, Barros et al.

(2002), ao trabalhar com ajuste hipsométricos para plantações de *Pinus oocarpa* no sudoeste do estado de São Paulo; Ribeiro et al. (2010), ao trabalhar com diferentes estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp., no estado da Bahia; Nascimento (2010), estudando a modelagem biométrica e planejamento florestal otimizado em plantios de *Pinus taeda* no planalto catarinense; Andrade e Leite (2011), ao trabalhar com plantio de *Eucalyptus* sp. em Minas Gerais, Azevedo et al. (2011), ao trabalhar por espécies nativas (Ipê Branco, Ipê Roxo) no estado da Bahia.

Conclusões

A correlação entre as variáveis altura total e diâmetro para povoamentos jovens (3 anos) apresentaram-se com valores ligeiramente inferiores aos povoamentos com idade mais avançada, pois a idade influenciou negativamente o valor de R.

É possível a utilização de modelos hipsométricos, para estimativa da variável altura total em plantios híbridos clonais de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

As estatísticas de ajuste e precisão, assim como o gráfico residual para todos os modelos testados, foram convincentes e aceitáveis.

Entre todos os modelos ajustados, recomenda-se a utilização do modelo de Curtis, como o mais estável e preciso, para a estimativa da variável altura total em plantios híbridos clonais de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, na região nordeste do Estado do Mato Grosso do Sul.

Agradecimentos

A Reichert Agropecuária Ltda., denominada Fazenda Campo Bom (FCB), pela



disponibilidade das áreas plantadas, apoio e logística durante a coleta dos dados em campo.

Referências

ANDRADE, V. C. L.; LEITE, H. G. Hipsometric relationship modeling using data sampled in tree scaling and inventory plots. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 157-164, 2011.

AZEVEDO, G. B. DE.; SOUSA, G. T. O.; SILVA, H. F.; BARRETO, P. A. B.; NOVAES, A. B. Seleção de modelos hipsométricos para quatro espécies florestais nativas em plantio misto no planalto da conquista na Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer. Goiânia-GO. Vol. 7, n. 12, p. 1-13, 2011.

BARROS, D. A.; MACHADO, S. A.; JUNIOR, F. W. A.; SCOLFORO, J. R. S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.45, p. 3-28. 2002.

BARTOSZECK, A. C. P. S. **Evolução da distribuição diamétrica e da relação hipsométrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracatingais da região metropolitana de Curitiba**. 2002. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.; G.; **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas/** João Carlos Chagas Campos e Hélio Garcia Leite. 4.ed. ver. E ampl. – Viçosa: ed. UFV, 470p. 2013.

DRAPPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley, 709p. 1981.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 412p. 2009.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G.F.; TICCHETTI, I. Variáveis dendrométricas. **Comunicações técnicas florestais**, v.4; n. 1, 112 p. 2002.

FINGER, C.A.G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC. 1992. 269p.

JESUS, C. M.; MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ENCINAS, J. I.; Avaliação de diferentes hipsômetros para medição da altura total em um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x

Eucalyptus grandis. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol. 8, n. 15, p. 291-299. 2012.

MIGUEL, E. P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do estado de Goiás**. 2009. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

NASCIMENTO, F. A. F. **Modelagem biométrica e planejamento florestal otimizado utilizando a meta-heurística enxame de partículas**. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Irati – PR, 2010.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; MELLO, J. M. de; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, MG, v. 16, n. 1, p. 22-31, 2010.

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.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. LAVRAS: UFLA/FAEPE, MG, v. 1. 443p. 2008.