

AJUSTE DE MODELOS HIPSONOMÉTRICOS PARA UM POVOAMENTO DE EUCALIPTOS CONDUZIDO SOBRE O SISTEMA DE REBROTA

Rogério Fernando Rufino¹, Eder Pereira Miguel², Gildomar Alves dos Santos³
Talles Eduardo Borges dos Santos⁴, Frederico De Souza⁵

1. Graduando em Engenharia Florestal Instituto de Ciências Agrárias - ICA, Faculdades Integradas de Mineiros - FIMES. CEP 75830-000 – Mineiros – GO, Brasil - e-mail: rogeriopgt@gmail.com.
2. Professor Assistente, M.Sc., Instituto de Ciências Agrárias - ICA, Faculdades Integradas de Mineiros - FIMES. CEP 75830-000 – Mineiros – GO e Doutorando em Ciências Florestais na Universidade de Brasília (UNB). emiguel@fimes.edu.br
3. Professor da Faculdades Integradas de Mineiros - FIMES e Doutorando em Ciências Florestais na *University of Aberdeen* (UK) gildomar1@fimes.edu.br
4. Professor Adjunto, Dr. Doutor, Instituto de Ciências Agrárias - ICA, Faculdades Integradas de Mineiros - FIMES. CEP 75830-000 – Mineiros – GO-Brasil tallesunesp@yahoo.com.br
5. Professor Assistente, M.Sc., Instituto de Ciências Agrárias - ICA, Faculdades Integradas de Mineiros - FIMES. CEP 75830-000 – Mineiros – GO e Doutorando em Ciências Florestais na Universidade de Brasília (UNB)- Brasil. frederico@fimes.edu.br

RESUMO

Este estudo foi realizado em um povoamento de híbridos de *Eucalyptus urophylla*, conduzido sobre o sistema de rebrota, com uma densidade inicial de 1666 árvores por hectare, (3x2m), em áreas pertencentes a empresa *Anglo American plc (CODEMIN)*, localizada no município de Niquelândia, no estado de Goiás. 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 quatro modelos hipsométricos, sendo estes os mais usuais no meio florestal. A base de dados foi obtida por meio de 13 parcelas de 24x20m, 480 m², distribuídas ao acaso em uma área total de 22 hectares, 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 (R^2 .j.), Erro Padrão da Estimativa (S_yx), e Gráfico de Resíduos. Os resultados apontaram uma ligeira superioridade no modelo de Trorey para estimativa da altura total.

PALAVRAS-CHAVE: Altura total, equações hipsométricas, inventário florestal

HYPSONOMETRIC MODELING ADJUSTMENT FOR *Eucalyptus urophylla* PLANTATION CONDUCTED ON RE-GROWTH SYSTEM

ABSTRACT

This study was performed under a hybrid of *Eucalyptus urophylla* plantations, managed under a re-growth system, with a initial density of 1666 trees per hectare (3m x 2m) spacing. The trial was settled in areas that belongs do *Anglo American plc (CODEMIN)*, located at Niquelandia county in Goias State. The present study objective was test hypsometric models and analyse adjustment and precision statistics in order to select the most exact equation for estimating total height. In total was adjusted 04 (four) hypsometric models, which are more used in forest mensuration studies. The database was obtained by launching 13 randomized parcels of 24m x 20m (480m²) in a 22 hectares area, where was measured DBH from all stands inside of the parcel, also was measured the first 15 trees height on each parcel, plus the height of the 5 dominant trees by Assmann principle, in order to obtain the total height. The selected equations were evaluated based on the following criteria: determination coefficient (R²), residual standard error (Syx) and graphical distribution of residues. The results showed a light superiority of Trorey model for total height estimation.

KEY WORDS: Total height, hypsometric equations, forest inventory

INTRODUÇÃO

A relação hipsométrica é bastante utilizada no inventário florestal, pois permite estimar a altura das árvores da parcela a partir da mensuração de pares de altura e diâmetro medido a 1,30m do solo (DAP) para posterior formulação de modelos matemáticos (RIBEIRO et al, 2008).

A utilização dos modelos hipsométricos é uma opção de trabalho questionável, mas de grande significado prático na medida em que é utilizada. A altura é uma variável difícil de ser mensurada e quando determinada para todos os indivíduos por hipsômetros sob condições inadequadas de visibilidade da copa das árvores, topografia, e sub-bosque podem acarretar procedimentos demorados e de alto custo, onerando seu uso e apresentando erros graves de medição, proporcionando considerável aumento do viés no inventário (SCOLFORO, 1997; RIBEIRO et al, 2008).

Por este motivo, o que se tem feito na prática é medir a altura de algumas árvores nas parcelas do inventário e, empregando relações hipsométricas, estimar a altura das demais. Esse tipo de procedimento é muito comum nos povoamentos florestais, visivelmente nos plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*. Nesses gêneros, vários modelos estatísticos já foram testados e são correntemente utilizados pelas empresas florestais no país (SILVA et al, 2007).

Com relação específica a altura/diâmetro (relação hipsométrica) pode-se considerar duas situações. Na primeira situação para povoamentos onde o sítio é definido como bem formados e conduzidos, espera-se uma correlação forte entre as duas variáveis, pois se tem maior homogeneidade na população. Para na segunda situação, onde os povoamentos são mais antigos ou mal formados, ou até mal conduzidos, ou mesmo conduzido sobre o sistema de rebrota, espera-se uma menor correlação entre diâmetro e altura, já que haverá uma maior heterogeneidade na população considerada (SCOLFORO, 1997; RIBEIRO et al., 2008).

A relação hipsométrica é influenciada por diversas variáveis tais como: idade, região de plantio, sistema de amostragem, densidade, tamanho da copa e posição sociológica. Na composição da base de dados para ajustar a relação hipsométrica,

procuram-se estratégias de ajustes capazes de captar os diversos fatores que afetam essa relação. Assim, deve-se ter um cuidado especial na escolha das árvores que irão compor a amostra a ser utilizada no ajuste da relação hipsométrica. Tendo em vista os muitos fatores que afetam a relação hipsométrica, a composição e tamanho da amostra devem ser determinados de forma criteriosa, de modo a evitar estimativas muito distorcidas (SILVA et al., 2007).

MIGUEL (2009), afirmou que o número de árvores para a determinação de uma relação hipsométrica é influenciada diretamente pela heterogeneidade que o plantio apresenta, e que por mais homogêneo que seja, uma quantidade mínima de pares de altura/diâmetro devem ser amostradas, e geralmente este valor está acima de 30 pares de altura/diâmetro por hectare.

Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi ajustar, comparar e selecionar o melhor modelo hipsométrico para a obtenção da variável altura total em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* conduzido sobre o sistema de rebrota.

METODOLOGIA

Os dados utilizados para desenvolver este estudo foram obtidos de um plantio de híbridos de *Eucalyptus urophylla*, de propriedade do Grupo *Anglo American plc (CODEMIN)*, localizada no município de Niquelândia, no Estado de Goiás. De acordo com a classificação da Embrapa, na região deste município, predominam solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, não hidromórficos com horizonte B latossólico, apresentando relação molecular K_i baixa, inferior a 1,9, de coloração variando de vermelho ao amarelo e gamas intermediárias.

Os solos são normalmente muito profundos ou profundos, com seqüência de horizontes A, B e C e com transições entre os subhorizontes difusas e graduais, acentuadamente a bem drenados. Em sua maior parte estes solos da área são álicos, ou seja, com percentagem de saturação de alumínio superior a 50%, atingindo até valores próximos a 95%. Apresentam textura média e relevo plano, ondulado.

O clima, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo AW, característico dos climas úmidos tropicais, com duas estações bem definidas: seca, no inverno, iniciando no mês de maio, estendendo-se até o fim de agosto, e úmida no verão, que tem início no mês de outubro até o mês de março, com transições, nas proximidades dos períodos que estão findando, com uma temperatura média anual de 28 °C.

O espaçamento inicial do plantio foi de 3x2 metros (1666 árvores por hectare) advindos clones, produzidos pela própria empresa.

Realizada a exploração (corte raso) em Novembro de 2002 e assim conduzida pelo sistema de rebrota. Este sistema de condução constitui de uma seleção das melhores brotações, onde uma ou duas cepas com maior diâmetro e maior altura foram mantidos, e as demais brotações foram cortadas. Após o período de mais sete anos (segundo ciclo em novembro de 2009), foram lançadas 13 parcelas de 24 x 20 m totalmente ao acaso e foram mensuradas as variáveis diâmetro e altura.

Para medição do diâmetro utilizou-se uma fita dendrométrica e estes foram mensurados à 1,30m do solo (DAP), de todas as árvores que compunham as 13 parcelas de distribuídas ao acaso em uma área total de 22 hectares. 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 das 100 árvores mais grossas por hectare.

Os modelos hipsométricos foram ajustados, utilizando-se o programa *microsoft office excel 2003*, conforme pode ser visualizado pela Tabela 1

TABELA 1 – Modelos hipsométricos ajustados para a estimativa da variável altura total

Autores	Modelos
Trorey	$H = \beta_1 + \beta_2 * DAP + \beta_3 * DAP^2$
Linha Reta	$H = \beta_0 + \beta_1 * DAP$
Stofel	$Ln(H) = \beta_0 + \beta_1 * \log DAP$
Curtis	$Ln(H) = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP}$

Onde:

Ln = logaritmo natural

H = altura total da árvore (m)

D = diâmetro a altura do peito (cm)

$\beta_0; \beta_1; \beta_2; \beta_3$ = coeficientes a serem obtidos

Após o ajuste dos modelos hipsométricos foi realizada uma análise quantitativa para selecionar o melhor modelo, com intuito de obter a altura total.

A seleção do melhor modelo foi baseada em critérios estatísticos com suas respectivas ordens de importância:

a) Erro padrão da estimativa (syx) na escala da variável dependente e em porcentagem ($syx\%$), sendo que, mais próximo de zero, mais preciso, pois o valor indica o quão próximo os valores estimados estão dos valores observados, e é obtido por meio das seguintes fórmulas:

$$syx = \sqrt{\frac{(Y_i - Y_e)^2}{n - p}} \quad syx\% = \frac{syx}{Y_m} * 100$$

Onde:

syx = erro padrão da estimativa

$yx\%$ = erro padrão da estimativa em porcentagem

Y_i = altura observada

Y_e = altura estimada

Y_m = altura média observada

n = número de observações

p = número de coeficientes do modelo matemático

As relações hipsométricas que trabalham na escala logarítmica fornecem posteriormente o logaritmo da altura sendo assim, se torna necessário calcular o antilogaritmo desta altura para obtê-la na sua forma real. Porém, na realização deste procedimento existe um erro conhecido como discrepância logarítmica que geralmente subestima a altura, então para minimizar esta discrepância, foi desenvolvido um fator que consegue resolver este problema, conhecido como Fator de correção de Meyer (F_m), tanto para modelos que usam a base 10, como a base natural. A fórmula para o Fator de Meyer, na sua forma natural é:

$$Fm = e^{0,5*Q.M.,res.}$$

Onde:

e = base do logaritmo natural, 2,718281828...

$Q.M., res.$ = quadrado médio dos resíduos, (MIGUEL, 2009).

b) Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj});

O coeficiente de determinação (R^2) expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo for o valor do (R^2) em relação à unidade, melhor terá sido o ajuste. Porém, é necessário reajustar esses coeficientes, para que seja possível comparar as equações, já que os graus de liberdade da regressão diferem entre os modelos testados. Este reajuste ou correção tem sido referido como índice de Schalaegel e sua expressão matemática é:

$$R^2_{aj.} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p-1} \right) \cdot \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}}$$

Onde:

$R^2_{aj.}$ = Coeficiente de determinação ajustado;

n = Número de dados (tamanho da amostra);

p = Número de Variáveis independentes do modelo em questão;

SQ_{res} = Soma de quadrado do resíduo;

SQ_{tot} = Soma de quadrado total, (MIGUEL, 2009).

O índice de Schlaegel (IA) é uma estatística comparável ao R^2 ; esta estatística consiste em uma retransformação das predições dos valores estimados para a unidade original. Quando se trata de equações aritméticas o valor de (IA) é igual ao valor de (R^2); portanto, este índice serve como um comparador de equações de diferentes naturezas. Na discussão dos resultados pertinente a esse tema, o índice de Schlaegel foi tratado como (R^2), (MIGUEL, 2009).

c) Análise gráfica dos resíduos (%);

Mesmo que todos os estimadores de ajuste sejam bons indicadores para a escolha do melhor modelo, a análise gráfica de resíduos é decisiva, pois permite detectar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo de toda linha de regressão ainda, é possível verificar se os resíduos são independentes, e se há homogeneidade de variância. Como a análise gráfica é visual, pode envolver alguma subjetividade. Desta forma, este procedimento é usado em conjunto com as estatísticas citadas anteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 traz a correlação existente entre as variáveis DAP e Altura Total para o sistema de rebrota em questão. É perceptível que existe uma baixa correlação entre estas variáveis diâmetro e altura total na referida base de dados onde foi observado um R^2 igual á 55%. Provavelmente isso se deve ao fato de que, o povoamento estudado é justamente conduzido por um sistema de rebrota.

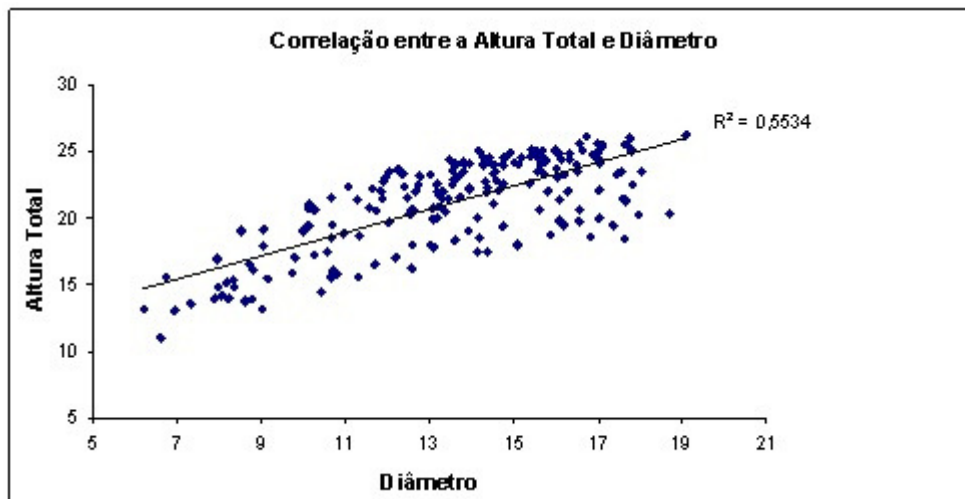


FIGURA 1 - Correlação simples (R^2) entre a Altura Total e o Diâmetro
 Fonte: pesquisa dos autores

De acordo com BARTOSZECK (2000) e BARROS (2000), fatores como idade, desbaste, sítio, material genético e sistema da condução do povoamento podem interferir na relação entre o diâmetro e a altura. O sistema de rebrota (talha dia) afeta de forma negativa o crescimento relacional entre a altura e o diâmetro, conforme visto na Figura 1

Para a Tabela 2, pode-se verificar os resultados dos ajustes dos modelos hipsométricos para a obtenção da estimativa da variável altura total, em função do DAP.

TABELA 2 - Resultado dos coeficientes estimados para os modelos hipsométricos testados

Autores	Equações ajustadas
Trorey	$H = -5,92481236527348 + (3,38050640362469 * DAP) + (-0,0978740454299289 * (DAP^2))$
Linha Reta	$H = 9,53179885468944 + (0,85999695641562 * (DAP))$
Stofel	$Ln h = 1,51073437384622 + (1,36145579927817 * Ln(DAP))$
Curtis	$Ln h = 3,56354559722208 + \left(-6,76683176958493 * \left(\frac{1}{DAP} \right) \right)$

Na Tabela 3, podem ser observadas as estatísticas de ajuste e precisão calculadas para os modelos hipsométricos que apresentam equações logarítmicas retransformadas (modelos de Stofel, Curtis), e na escala normal (modelos de Trorey e Linha Reta).

TABELA 3 - Estatística de ajustes e precisão referente aos modelos testados

Modelos Matemáticos	Estatísticas do Ajuste		
	R².aj.	Syx (m)	Syx%
Trorey 10,16	0,6056	2,1479	
Linha Reta 10,46	0,5479	2,2243	
Stofel 10,45	0,7597	2,2124	
Curtis 10,23	0,6387	2,1600	

Desta forma Observou-se que, o modelo que apresentou-se ligeiramente favorável aos demais pelo erro padrão da estimativa (Syx%), foi o modelo de Trorey.

Nota-se que o R².aj. do modelo de Trorey é menor que o do modelo de Stofel. No entanto, pelo critério de importância, o syx vem em primeiro lugar e este encontra-se mais favoráveis a todos os modelos ajustados, apesar da diferença para este parâmetro entre os modelos ser muito sutil.

Ao se tratar de equações hipsométricas, o R².aj. para os referidos modelos testados podem ser consideradas satisfatórias, onde diversos pesquisadores como SCOLFORO (1998), FINGUER (1992) e GARCIA & LEITE (2006) citados por MIGUEL (2009), afirmam que raramente esta estatística passará de 0,80. Neste caso vale ressaltar que uma melhoria destes parâmetros poderiam ser obtidos se o povoamento não fossem conduzidos sobre rebrota, uma vez que esta técnica silvicultural faz com que os plantios apresentem uma maior heterogeneidade, diminuindo-se assim a correlação entre a variável diâmetro e altura.

Observou-se que todos os modelos apresentaram valores de syx mais elevados (acima de 1m e 1,30). Acredita-se que este fato se deve ao povoamento ser advindo de rebrota, onde já se destacou que a correlação entre as variáveis diâmetro e altura foi baixa, justificando assim estatísticas ligeiramente inferiores a de povoamentos conduzido de forma tradicional. É fato portanto que os povoamentos florestais conduzidos sobre o sistema de rebrota diminuem a correlação entre o diâmetro e a altura total devido características fisiológicas da árvore como foi percebido na Figura 1.

É sabido que a correlação entre o diâmetro e a altura não é tão forte quanto ao diâmetro e o volume e ainda mais se trabalhando com sistema de rebrota, esta correlação diminui. Perceber-se pela Tabela 3 que todos os modelos hipsométricos apresentaram valores para syx compreendidos entre 2,14 e 2,23 metros, com um sutil favorecimento apresentado pelo modelo de Trorey, mesmo sabendo que seu R².aj. foi menor que o modelo de Stofel.

Para se determinar com precisão a escolha do melhor modelo realizou-se a análise gráfica na busca de tendenciosidade das equações ajustadas. Tal análise pode ser observada pela Figura 2 onde são mostradas as dispersões dos resíduos dos modelos ajustados.

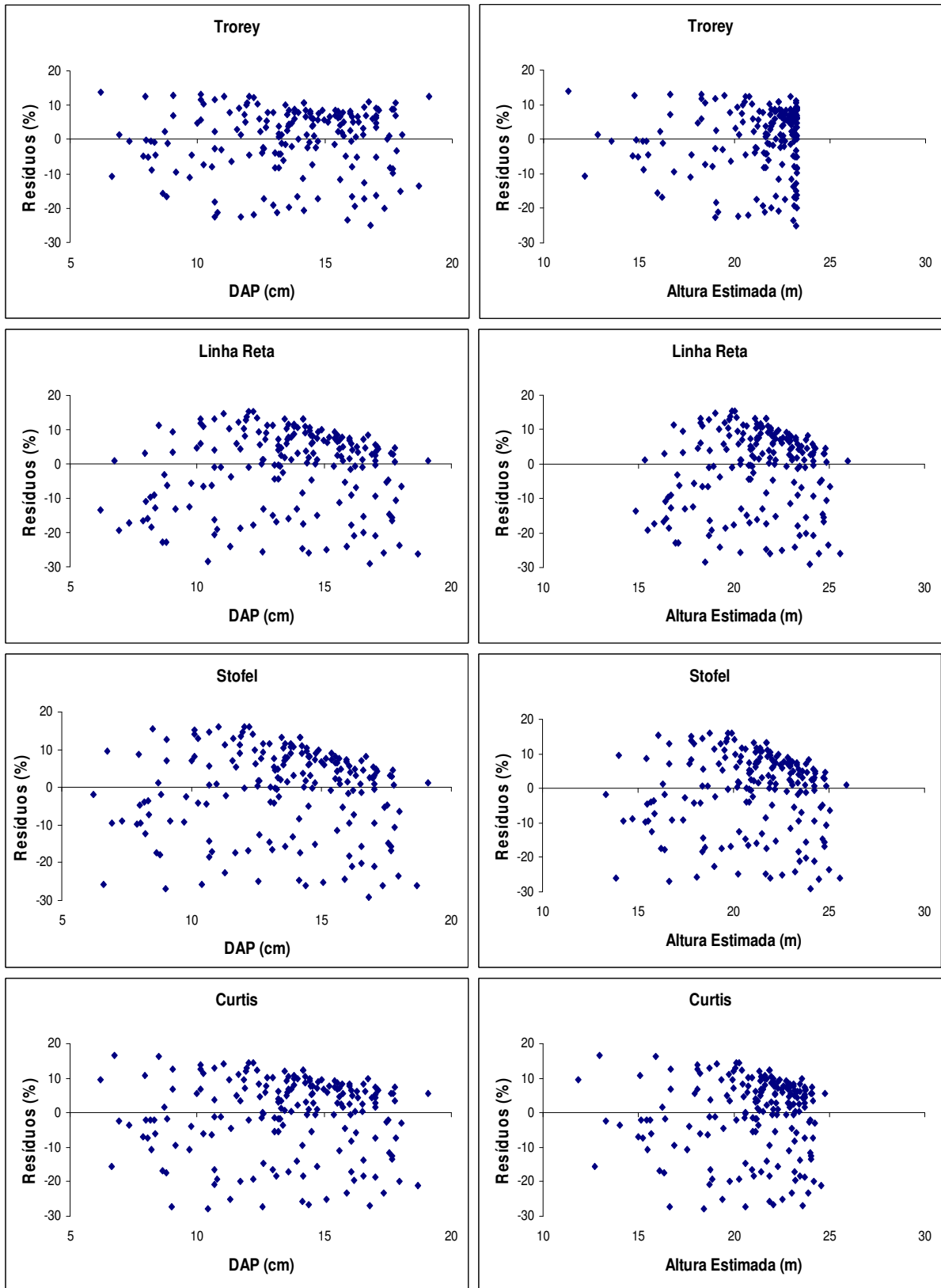


FIGURA 2 - Gráficos de dispersão dos resíduos plotados sobre a variável de maior correlação com altura e sobre a própria variável estimada

Fonte: pesquisa dos autores

Percebeu-se que todos os modelos ajustados apresentam uma leve tendenciosidade em superestimar os valores observados de DAP e altura, porém esta tendenciosidade é mais acentuada nos modelos de Stofel e Linha Reta.

Em todos os modelos ajustados o erro de hora inflacionar, e outra hora deflacionar estiveram compreendidos entre 20 a -30%. Também foi possível observar que o modelo de Trorey apresentou-se ligeiramente mais favoráveis aos demais. Pois neste modelo percebeu-se uma maior homogeneização dos resíduos ao longo da linha de regressão quando comparado aos demais modelos ajustados.

Com base na distribuição dos resíduos, juntamente com o erro padrão da estimativa (Syx), o modelo de Trorey se mostrou o mais apropriado para a estimativa da altura total em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* conduzido sobre o sistema de rebrota na região norte do estado de Goiás.

Resultados semelhantes foram encontrado por MIGUEL (2009), em um povoamento implantado pelo sistema convencional de clones de *Eucalyptus urophylla*, localizado no município de Niquelândia, situado na região norte do estado de Goiás onde o modelo de Trorey apresentou ser o melhor modelo, mostrando uma maior uniformidade na distribuição dos resíduos. Este modelo também já havia apresentado o menor erro padrão da estimativa e com isso mostrou-se mais favorável aos demais modelos na estimativa da altura total para o referido povoamento estudado.

Analisando estes resultados foi possível observar que o modelo de Trorey destacou-se para a estimativa da altura total na região norte do estado de Goiás, pois mesmo pelo fato dos povoamentos serem conduzidos por sistemas distintos um do outro, sendo um por sistema de rebrota e outro por um sistema convencional, o modelo de Trorey se mostrou como melhor modelo hipsométrico em ambos os estudos.

Para MACHADO et al. (2008) estudando um povoamento de *Araucaria angustifolia* na cidade de Curitiba PR, também obteve as melhores estimativas com o modelo de Trorey para a variável altura total.

Segundo MACHADO et al. (1994), estudando o comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade em um povoamento de *Pinus elliotti* no estado do Paraná, concluiu que, o modelo de Trorey apresentou valores estatísticos superiores aos demais modelos testados.

Sendo assim as estatísticas de ajuste precisão do referente trabalho estão em consonância com a literatura onde diversos trabalhos realizados apontaram o modelo de Trorey juntamente com o de Curtis como modelos mais apropriados para a estimativa da variável altura total.

CONCLUSÕES

A correlação entre as variáveis altura total e diâmetro para povoamentos conduzidos sobre o sistema de rebrota apresentaram-se com valores inferiores aos de povoamentos conduzidos de forma tradicionais, pois o sistema de rebrota influenciou negativamente os parâmetros estatísticos;

As estatísticas de ajuste e precisão para todos os modelos testados apresentaram erros ligeiramente elevados, porém aceitáveis por se tratar da relação diâmetro/altura; apresentaram ligeiramente superior as estatísticas advindas de plantios conduzidos de forma tradicional;

Entre os modelos ajustados, o modelo de Trorey apresentou estatísticas de ajuste e precisão sutilmente mais favoráveis aos demais, motivo este pelo o qual se tornou o mais apropriado para a obtenção da variável altura total em povoamentos

de *Eucalyptus urophylla* conduzido sobre o sistema de rebrota na Região Norte do estado de Goiás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, D.A. **Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantação de *Pinus oocarpa* na região de Agudos-SP em diferentes idades e números de desbastes.** 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2000

BARTOSZECK, A.C.,P.S. **Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em Bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba.** 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.

MACHADO, S. A.; BAILEY, R. L.; BASSO, S. F.; JÚNIOR, V. G. B.; **Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito a idade para plantações de *Pinus elliotti* no estado do Paraná.** CERNE, v.1, N.1, p. 5-12, 1994.

MACHADO, S. A.; NACIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R. S.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TEO, S. J.; **Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da engenharia florestal da UFPR.** *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, n.56, p.5-16, jan./jun. 2008.

MIGUEL, E. P.; **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do estado de Goiás.** Curitiba: UFPR. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, p. 161, 2009.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; **Diferentes estratégias de ajuste de modelo hipsométricos em plantios de *Eucalyptus spp.*** 4^o Simpósio Latino – Americano Sobre Manejo Florestal, UFMS-RS, v. p.16-22, 2008.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal 2: técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira.** Lavras-MG: UFLA/FAEPE, Universidade Federal de Lavras, Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão. p. 292, 1997.

SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; RODRIGUES, F. L.; PETERNELLI, L. A.; **Análise da influência de diferentes tamanhos e composições de amostras no ajuste de uma relação hipsométrica para *Eucalyptus grandis*.** Sociedade de investigações florestais, Revista Árvore, Viçosa-MG, v.31, n.4, p. 685-694, 2007.