

AJUSTE DE MODELO VOLUMÉTRICO E DESENVOLVIMENTO DE FATOR DE FORMA PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus grandis* LOCALIZADOS NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE – GO

Eder Pereira Miguel¹, Luiz Fernando Canzi², Rogério Fernando Rufino³, Gildomar Alves dos Santos⁴

1. M.Sc em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná - UFPR e Doutorando em Engenharia Florestal pela Universidade de Brasília – UNB. CEP 70919-970 – Brasília – DF. Brasil. miguelederpereira@gmail.com.

2. Engenheiro Florestal pelas Faculdades Integradas de Mineiros - FIMES. CEP 75830-000 – Mineiros – GO. Brasil. luiz_canzi@hotmail.com

2. Engenheiro Florestal pelas Faculdades Integradas de Mineiros - FIMES. CEP 75830-000 – Mineiros – GO. Analista da Novaluz Serviços de Itabira Ltda rogeriopgt@gmail.com

4. Professor da Faculdades Integradas de Mineiros – FIMES. CEP 75830-000 – Mineiros - GO e Doutorando em Ciências Florestais na *University of Aberdeen* (UK) gildomar@fimes.edu.br

RESUMO

O referido estudo foi realizado em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, que apresenta uma densidade inicial de aproximadamente 1666 árvores por hectare, com espaçamento de (3x2), a propriedade pertence à Cooperativa Mista dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano Ltda (Fazenda Florestal II). Localizada no município de Rio Verde no estado de Goiás. O objetivo deste trabalho foi selecionar modelos volumétricos de simples entrada e de dupla entrada para a estimativa do volume total, sendo cinco modelos de simples entrada e sete de dupla entrada, para uma estimativa rápida do volume individual foi obtido o fator de forma normal. Para adquirir a base de dados foram lançadas 19 parcelas ao acaso dentro do povoamento. Foram abatidas 20 árvores e cubadas rigorosamente pelo método de Hohenadl. Uma vez obtido o volume total individual de cada árvore, foram ajustados os modelos de simples e dupla entrada. As equações volumétricas foram avaliadas com base nos seguintes critérios para sua seleção: Coeficiente de Determinação (R^2 .j.), Erro Padrão da Estimativa (Syx), e Gráfico de Resíduos. Os resultados obtidos apontaram que o modelo de Takata demonstrou ser o mais apropriado para a estimativa do volume total para área em estudo, podendo assim ser usado para áreas com a mesma semelhança em tratos silviculturais e pertencente à mesma região em questão. O fator de forma médio que melhor corrige o volume do cilindro para o volume sólido é de 0,47, valor este que pode ser utilizado para uma estimativa rápida do volume individual ou do povoamento, onde plantios apresentam características semelhantes.

PALAVRAS-CHAVE: Volumetria, Equações de Volume, Inventário Florestal

VOLUMETRIC MODELLING AND FORM FACTOR DEVELOPMENT FOR *Eucalyptus grandis* PLANTATION, LOCATED IN RIO VERDE COUNTY (GOIAS STATE, BRAZIL)

ABSTRACT

This study was conducted in a *Eucalyptus grandis* plantation, which showed an initial density of 1666 trees. ha⁻¹, 3x2 meters spacing and in local property of Cooperativa

Mista dos Protutores Rurais do Sudoeste Goiano Ltda (Fazenda Florestal II). The plantation is located at Rio Verde county in Goiás State. The aim of this study was select suitable volumetric simple and double entry models for total volume estimation and there was used five simple entry models and seven double entry models. To have a quick volume estimation was obtained a normal form factor. To achieve the database there was launched 19 randomized samples in the plantation. The trees were cut and cubed by Hohenadl method. Once the total volume obtained for each tree, models of simple and double entry were adjusted. The selected equations were evaluated based on the following criteria: determination coefficient (R^2), residual standard error (Syx) and graphical distribution of residues. The obtained results pointed that Takata model showed to be more appropriate for volume estimation for the area of study, and could be used for areas with similar silvicultural conditions and in the same region where the area is. The form factor that best correct the cylinder volume to the solid volume is 0.47. This value can be used for quick volume estimation for single individual or for plantation when this presents the similar characteristics.

KEY WORDS: Volumetry, Volume equations, Forest inventory

INTRODUÇÃO

Conhecer o volume de madeira de uma floresta é de extrema relevância, pois a valorização da madeira e dos produtos florestais e a necessidade do uso social, ecológico e economicamente correto dos recursos florestais nativos e plantado aumentam cada vez mais. A preocupação com o planejamento, ordenamento e o uso da madeira, cada vez exigem uma maior precisão na quantificação do volume dos povoamentos florestais.

As equações de volume são fundamentais na tomada de decisão de povoamentos florestais. Por isso, várias equações matemáticas foram desenvolvidas para se estimar o volume de povoamentos florestais, porém, apesar da eficiência de alguns modelos, que nem sempre se ajustam às espécies e condições de interesse são recomendadas testar vários modelos volumétricos, por meio de análises estatísticas, escolher o que melhor se identifica para cada caso (SILVA, 2008).

Esses modelos volumétricos utilizam uma variável dependente que é o volume, associado a variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro à altura do peito e a altura (MACHADO et al, 2002 citado por MIGUEL 2009). Através dessas equações matemáticas pode-se estimar volumes individuais de árvores e, com base num procedimento de amostragem realizado em campo, utilizando unidades amostrais (parcelas), chega-se a estimativas de volume por parcelas, podendo em seguida ser extrapolado para o hectare e, por fim, para toda a população em estudo.

Assim como existem os modelos volumétricos para a estimativa volume também existe o fator de forma, que é uma opção antiga de obtenção de volume individual de árvores, onde busca corrigir o volume do cilindro para o volume real da árvore, ele fornece estimativas confiáveis, desde que se controle idade, espaçamento e sítio (FRANCO et al, 1997 citado por CABACINHA, 2003).

Neste contexto o objetivo do presente estudo foi ajustar, comparar e escolher o melhor modelo volumétrico de simples e dupla entrada para a obtenção do volume total e desenvolver um fator de forma para um povoamento de *Eucalyptus grandis* no município de Rio Verde, Goiás.

METODOLOGIA

Os dados utilizados para desenvolver o presente estudo foram obtidos em um plantio de *Eucalyptus grandis* pertencente à COMIGO - Cooperativa Mista dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano Ltda, Fazenda Florestal II, localizada na Rod. BR 060 km 397 à esquerda - Zona Rural, no município de Rio Verde, no Estado de Goiás, a 748 metros de altitude, possuindo as seguintes coordenadas geográficas: latitude 17° 51' 27' S e longitude 51° 4' 12' W. De acordo com a classificação da Embrapa, Na região predominam os solos com horizonte B Latossólico, conhecidos como Latossolos Vermelho Escuro + Vermelho-Amarelo Distróficos, com horizonte A moderado a médio, horizonte B latossólico, textura argilosa.

O clima, segundo a classificação de KÖPPEN, é o tipo Aw, tropical úmido, caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca, que corresponde ao outono e inverno, indo do mês de maio ao mês de setembro e a outra úmida, com chuvas torrenciais, correspondendo ao período de primavera e verão. A precipitação média anual variando de 1.200 a 1.500mm, com média anual em torno de 1.300mm e temperaturas médias em torno de 20° a 25°C.

O espaçamento inicial do plantio foi de 3x2 metros (1666 árvores por hectares), através de mudas convencionais produzidas na própria empresa, a implantação do povoamento foi realizada em Fevereiro de 2002 e foi feita a extração através de corte raso em Agosto de 2009.

No mês de Julho de 2009 o plantio estava apresentando sete anos, foram lançadas parcelas ao acaso no povoamento para a obtenção das variáveis dendrométricas diâmetro e altura.

Para a coleta dos dados, foi realizado um parcelamento da área através do método de amostragem casual simples, onde foram coletados os DAPs (diâmetro na altura do peito), à 1,30cm do solo de todas as árvores contidas dentro de cada parcela, foram lançadas 19 parcelas retangulares de 25 x 20 metros, totalizando uma área de 500m², onde tiveram aproximadamente 60 a 83 árvores por parcela amostrada, essas parcelas foram lançadas ao acaso em uma área total de 19,1ha.

Para ser feita a cubagem rigorosa foram escolhidas as árvores baseando-se na distribuição diamétrica do povoamento conforme pode ser observada na Tabela 1, a classe de diâmetro mínimo (DAP) adotado foi de cinco centímetros, e à amplitude das classes foram de quatro centímetros, onde o diâmetro do centro de cada classe que determinou as árvores a serem abatidas para a realização da cubagem rigorosa. Os diâmetros foram medidos nas alturas (m) 0,10, 0,30, 0,50, 0,70 e 0,90 do fuste de cada árvore, com a medida dos diâmetros nas referidas alturas absolutas através do método de Hohenadl, para poder ser calculado o volume total de cada indivíduo. Onde pode ser realizado o ajuste do fator de forma e dos modelos volumétricos.

TABELA 1 - Frequência de árvores cubadas para o povoamento de *Eucalyptus grandis*, nas diferentes classes de diâmetros adotadas

Classe	Intervalo de Classe	Centro da Classe	Árvores Cubadas
1	5,1 ≤ 9,1	7,1	4
2	9,1 ≤ 13,1	11,1	3
3	13,1 ≤ 17,1	15,1	3
4	17,1 ≤ 21,1	21,1	3
5	21,1 ≤ 25,1	23,1	4
6	25,1 ≤ 29,1	27,1	3
Total			20

Para reparar a imprecisão no cálculo do volume devido à grande variação da forma do fuste, uma alternativa para calcular este volume é o emprego de um fator de forma (*ff*), definido pela razão entre o volume sólido e o volume do cilindro, conforme a seguir:

$$ff = \frac{VSol}{VCil}$$

Onde:

VSol = Volume Sólido (Volume da Cubagem Rigorosa)

VCil = Volume do Cilindro

Com a obtenção do volume das 20 árvores através da cubagem rigorosa, pelo método de hohennadl, foram ajustados os modelos volumétricos utilizando-se o programa Microsoft Excel 2007 para os modelos lineares e o programa Statgraphics para o ajuste dos modelos biológicos não lineares. Foram ajustados os modelos de simples entradas, Tabela 2, e dupla entrada, Tabela 3, procurando assim encontrar o modelo que estimasse de forma confiável o volume individual total de cada árvore.

TABELA 2 - Modelos volumétricos de simples entrada ajustados

Autor	Modelos
Kopecky - Gehhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \varepsilon$
Dissescu - Meyer	$V = \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \varepsilon$
Hohenadl - Krenm	$V = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \varepsilon$
Brenac	$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 * Ln(DAP) + \beta_2 * \frac{1}{DAP} + \varepsilon$
Husch	$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 * Ln(DAP) + \varepsilon$

TABELA 3 - Modelos volumétricos de dupla entrada ajustados

Autor	Modelos
Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 * HT + \varepsilon$ $Ln(V) = B_0 + B_1 * Ln(DAP^2 * HT) + \varepsilon$

Spurr - (Log)

Shumacher e Hall (Log)

$$\ln(V) = B_0 + B_1 * \ln(DAP) + B_2 * \ln(HT) + \varepsilon$$

Stoate

$$V = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * DAP^2 * HT + \beta_3 * HT + \varepsilon$$

$$V = \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * DAP^2 * HT + \beta_3 * DAP^2 + \beta_4$$

Naslund

$$* HT^2 + \varepsilon$$

$$V = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \beta_3 * DAP * HT + \beta_4 * DAP^2$$

Meyer

$$* HT + \beta_5 * HT + \varepsilon$$

Takata

$$V = \frac{DAP^2 * HT}{\beta_0 + \beta_1 * DAP} + \varepsilon$$

Onde:

\ln = logaritmo natural

HT = altura total da árvore (m)

DAP = diâmetro a altura do peito (cm)

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

ε = erro

Para que se possa escolher o melhor modelo volumétrico e feito uma análise estatística. A partir da obtenção do modelo volumétrico pode ser estimado o volume individual total das árvores das parcelas, e assim determinar o volume do povoamento. A seleção do melhor modelo foi baseada nos seguintes critérios estatísticos com suas respectivas ordens de importância:

a) Erro padrão da estimativa (syx) na escala da variável dependente e em percentagem ($syx\%$), 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:

$$syx = \sqrt{\frac{(Y_i - Y_e)^2}{n - p}}$$

$$syx\% = \frac{syx}{Y_m} * 100$$

Onde:

syx = erro padrão da estimativa

$syx\%$ = 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 (Fm), 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, verificar se os resíduos são independentes, e se há homogeneidade de variância. Como a avaliação gráfica é visual, pode envolver alguma subjetividade, por isso é usada em conjunto com as estatísticas citadas anteriormente (MIGUEL, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da razão entre o volume real da árvore obtido mediante o processo de cubagem rigorosa e o volume do cilindro na qual a altura comercial foi considerada como altura total e o diâmetro igual ao DAP (diâmetro altura do peito),

foi obtido o Fator de Forma, que é um fator responsável para corrigir de forma média a superestimativa do volume de cada árvore uma vez que o fuste dos vegetais tende muito mais a um cone do que um cilindro, ou seja, os vegetais não são um cilindro perfeito. Este fator é conhecido como Fator de Forma Normal, assim temos:

TABELA 4 - Estimativa dos volumes real e volume do cilindro para ajuste do fator de forma

Média do Volume Real das Árvores Cubadas	Média do Volume do Cilindro das Árvores Cubadas
0,324159	0,691386

$$ff_{1,3} = \frac{0,324159}{0,691386}$$

$$\overline{ff}_{1,3} = 0,47$$

Assim, o volume do fuste de uma árvore pode ser obtido por:

$$V = \frac{\pi \cdot DAP^2}{40000} \cdot Ht \cdot \overline{ff}$$

O fator de forma torna-se uma ferramenta de grande valia para a obtenção de estimativas rápidas da variável volume, no entanto vale ressaltar que sua precisão é inferior as equações de volume, sendo assim deve-se ter ponderações e cuidados quanto ao seu uso.

Foram ajustados cinco modelos de simples entrada para a obtenção do volume total. Na Tabela 5, estão os resultados dos ajustes dos modelos volumétricos de simples entrada para a estimativa do volume total.

TABELA 5 - Equações volumétricas de simples entrada ajustados para a estimativa da variável de volume total

Autor	Equações Ajustadas
Kopezky - Gehhardt	$V = 0,00110606 * DAP^2$
Dissescu – Meyer	$V = - 0,00972480 * DAP + 0,00155214 * DAP^2$
Hohenadl - Krenm	$V = 0,04467183 + -0,01579613 * DAP + 0,00173165 * DAP^2$
Brenac	$\ln(V) = -10,99715589 + 3,24476995 * \ln(DAP) + 7,19142552 * 1/DAP$
Husch	$\ln(V) = -8,88925045 + 2,66428899 * \ln(DAP)$

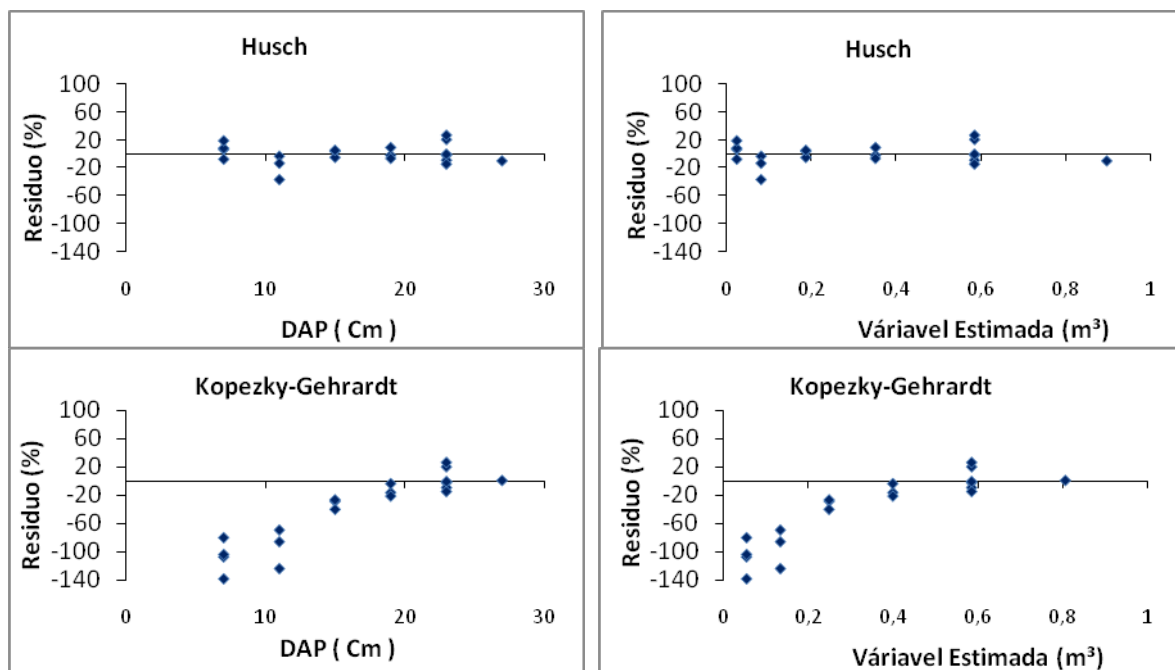
A Tabela 6 mostra as estatísticas de ajuste e precisão calculadas para os modelos de simples entrada ajustados para a estimativa do volume total, em função do DAP.

TABELA 6 - Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos volumétricos de simples entrada ajustados para a estimativa do volume total em função do DAP

Modelos	Syx (m)	Syx (%)	R ² Ajustado
Kopezky – Gehhardt	0,07525	23,21	0,9169
Dissescu – Meyer	0,06578	20,29	0,9212
Hohenadl – Krenm	0,06733	20,77	0,9401
Brenac	0,07425	22,90	0,9877
Husch	0,06779	20,91	0,9870

Após analisar a Tabela 6 observa-se que a equação de Brenac e a equação de Husch apresentaram um valor superior aos outros modelos para o coeficiente de determinação ajustado igual a 98,77% para o modelo de Brenac, e 98,70% para o modelo de Husch. Já no erro padrão da estimativa o modelo de Husch apresentou (Syx%), 20,91 e mostrou-se superior ao modelo de Brenac que apresentou um (Syx %) de 22,90%, a equação de Dissescu-Meyer e Hohenadl-Krenm apresentaram um erro padrão da estimativa ainda menor (20,29% e 20,77%), já o valor apresentado para o coeficiente de determinação ajustado 92,12% para o modelo de Dissescu-Meyer e 94,01% para o modelo de Hohenadl-Krenm, sendo estes valores ligeiramente inferiores aos modelos de Brenac e Husch. Por outro lado o modelo de Kopezky-Gehhardt foi o que apresentou os piores resultados para a estimativa do volume total.

A seleção do melhor ajuste para estimar o volume total foi realizado com o auxílio da distribuição gráfica dos resíduos percentuais, conforme a Figura 1.



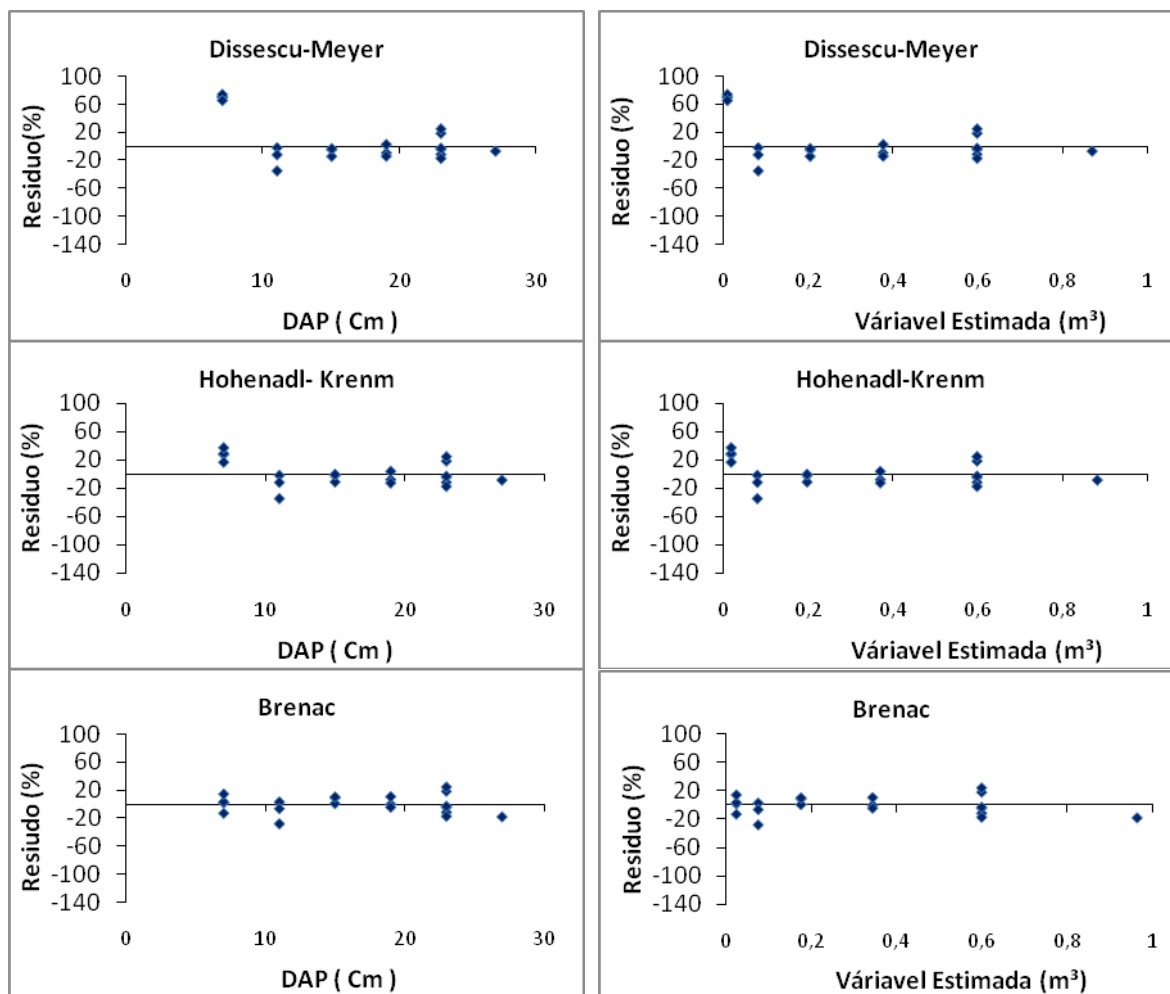


FIGURA 1 - Gráficos de dispersão dos resíduos para modelos volumétricos de simples entrada ajustados para obtenção da variável volume total

Fonte: pesquisa dos autores

Os modelos de Dissescu_Meyer e Hohenadl-Krenm mostraram um tendenciosidade em subestimativa para as árvores de menores diâmetros. Já o modelo de Kopezky-Gehhardt mostrou uma alta tendência em superestimar o volume para as árvores de menores diâmetros. No caso dos modelos de Brenac e Husch houve uma pequena tendência em superestimar para as mesmas condições. Após uma análise bem detalhada nos gráficos de resíduos e através da estatística apresentada na Tabela 6, pode-se notar que os modelos de Brenac e Husch apresentaram estatísticos e distribuição gráfica dos resíduos semelhantes, porém vale ressaltar que o erro padrão da média para o modelo de Husch foi ligeiramente superior ao modelo de Brenac, no entanto esta superioridade não foi detectada no gráfico de resíduos e por sua vez o modelo de Brenac apresentou um gráfico de resíduos com uma homogeneidade ligeiramente superior, e sendo o gráfico de resíduos a estatística mais importante nas análises de seleção de modelos volumétricos, optou-se pela equação de simples entrada segundo Brenac.

Esta ligeira superioridade do modelo de Brenac foi vista em trabalhos realizados por Miguel (2009), ao ajustar modelos de simples entrada para povoamentos de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás.

No entanto é claro e evidente que as estatísticas de ajuste de precisão e mesmo o gráfico de distribuição de resíduos do modelo selecionado deixou a

desejar, pois a distribuição de resíduos ao longo da linha de regressão não apresentou uma homogeneidade constante mais pelo fato de ser um modelo de simples entrada e a falta de estudos para a região em questão a de se considerar tais resultados.

Na Tabela 7, estão apresentadas as equações resultantes dos ajustes dos modelos volumétricos de dupla entrada para estimativa do volume total.

TABELA 7 - Equações volumétricas de dupla entrada ajustados para a estimativa da variável de volume total

Autores	Equações Ajustadas
Spurr	$V = -0,00357908 + 0,00003723 * DAP^2 * HT$
Spurr (Log)	$\ln(V) = -9,98138897 + 0,97316548 * \ln(DAP^2 * HT)$
Shumacher e Hall (Log)	$\ln(V) = -9,81105128 + 2,06111843 * \ln(DAP) + 0,81894702 * \ln(HT)$
Stoate	$V = -0,06007545 + -0,00178140 * DAP^2 + 0,00008091 * DAP^2 * HT + 0,00949321 * HT$
Naslund	$V = -0,00061999 * DAP^2 + 5,33555339 * DAP^2 * HT + 0,00004463 * DAP^2 + -0,00012271 * HT^2$
Meyer	$V = 0,18041602 + 0,03635075 * DAP + -0,00473409 * DAP^2 + 0,00274168 * DAP * HT + 0,00007991 * DAP^2 * HT + -0,03686088 * HT$
Takata	$V = \frac{DAP^2 * HT}{24858,7 + 94,578 * DAP}$

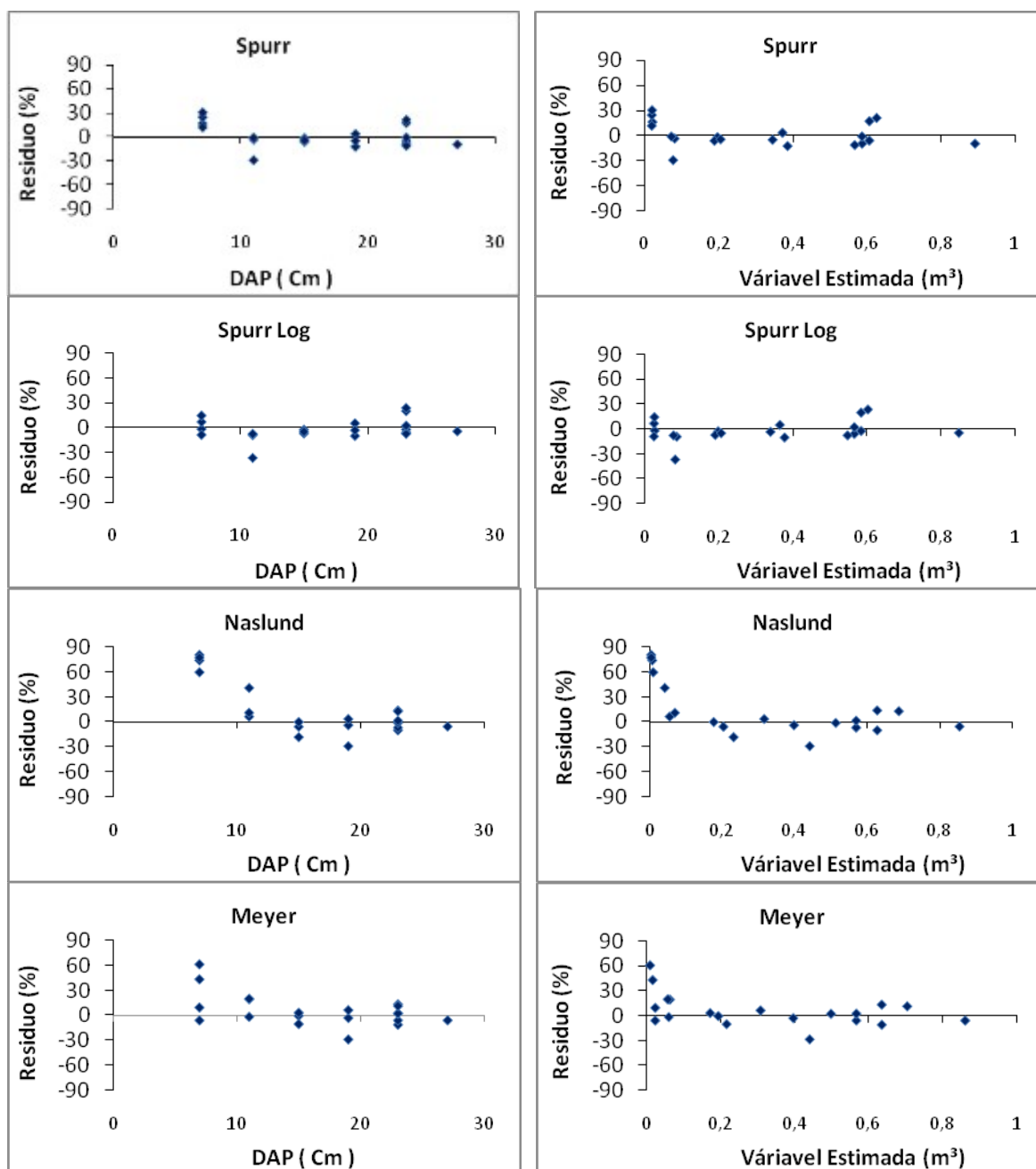
A Tabela 8 mostra as estatísticas de ajuste e precisão referentes aos modelos de dupla entrada para a estimativa do volume total, em função do DAP e altura total.

TABELA 8 - Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos volumétricos de dupla entrada ajustados para a estimativa do volume total em função do DAP e altura total

Modelos	Syx (m)	Syx (%)	R²Ajustado
Spurr	0,05765	17,78	0,9561
Spurr (Log)	0,05990	18,47	0,9890
Shumacher e Hall (Log)	0,06254	19,29	0,9884
Stoate	0,05495	16,95	0,9601
Naslund	0,05125	14,73	0,9234
Meyer	0,05171	15,95	0,9647
Takata	0,03407	10,51	0,9563

Conforme visto na literatura o presente trabalho teve resultados iguais ao trabalho de Silva (2008), onde o modelo de Naslund teve seu coeficiente de

determinação ajustado inferior aos outros modelos. Embora o modelo de Shumacher e Hall (Log) e Spurr (Log) apresentarem o maior coeficiente de determinação ajustado, observa-se que juntamente com o modelo de Spurr na sua forma normal apresentaram um erro padrão da estimativa (Syx%) ligeiramente superior aos demais modelos, resultados que foram iguais ao trabalho de Miguel (2009). Já os modelos de Stoate e Meyer mostraram uma semelhança tanto no erro padrão da estimativa (Syx%) quanto no coeficiente de determinação ajustado. No entanto o modelo de Takata apresentou uma superioridade aos demais modelos tendo o menor erro padrão da estimativa (Syx%), mas apresentou um coeficiente de determinação ligeiramente inferior. A Figura 2 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume total, para os sete modelos ajustados, como critério decisivo, na escolha do melhor ajuste.



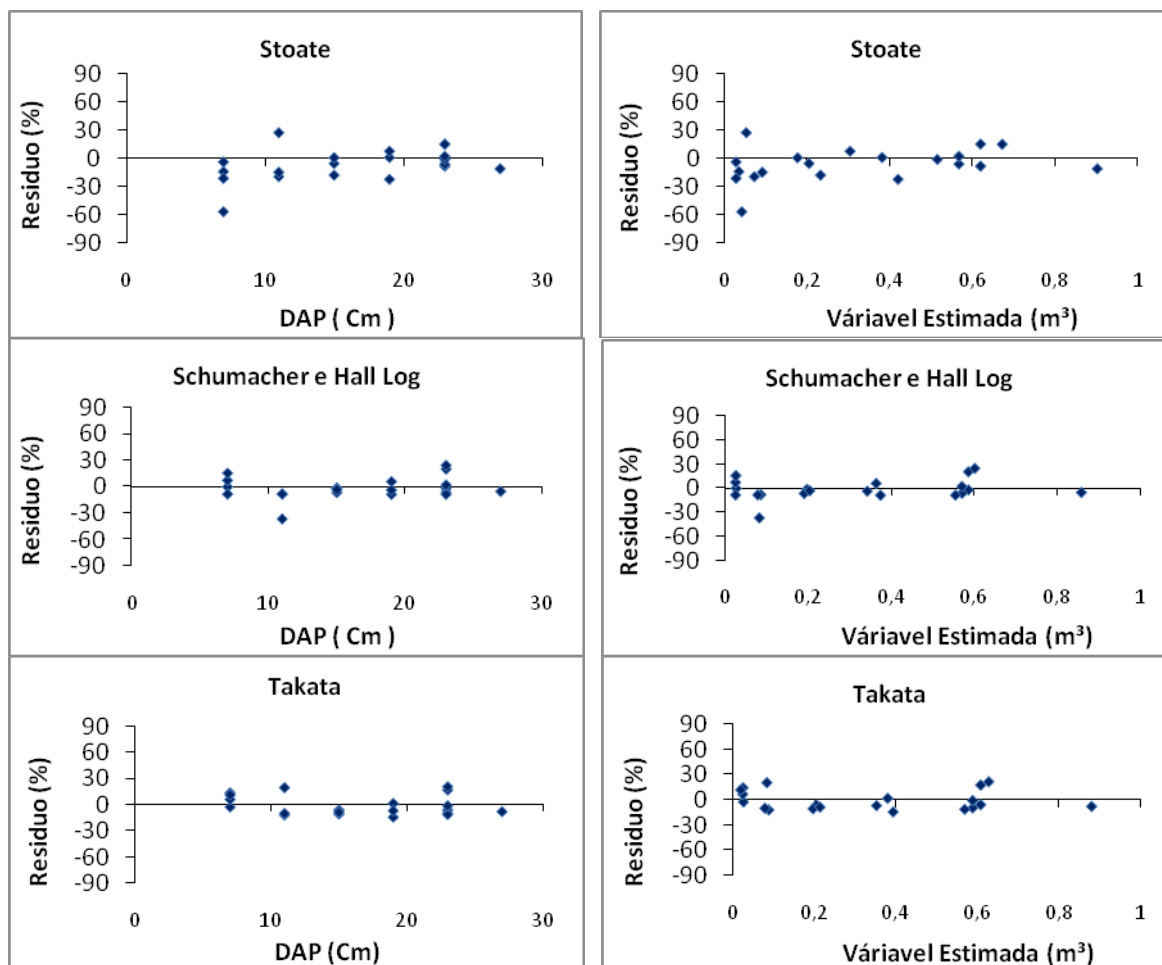


FIGURA 2 - Gráficos de dispersão dos resíduos para modelos volumétricos de dupla entrada ajustados para obtenção da variável volume total

Fonte: pesquisa dos autores

Após análise dos gráficos de resíduos pode-se descrever que o modelo de Naslund apesar de ter o segundo menor erro padrão da estimativa ($Syx\%$), não se mostrou satisfatório devido a uma grande tendência em subestimar o volume para as classes de menores diâmetros, o que também pode ser visto para o modelo de Meyer, o modelo de Spur também apresentou uma subestimação, mas de uma forma menos acentuada. Já o modelo de Stoaate apresentou uma clara tendência em superestimar valores para as classes de menores diâmetros.

Os modelos de Schumacher-Hall (Log), Spurr (Log) apresentaram uma boa distribuição no gráfico de resíduos, mas mostraram uma característica de inflacionar nos valores de menores diâmetros. Já no modelo de Takata essa característica de superestimativa foi vista nas classes intermediarias de diâmetro, porém de uma forma branda. Para uma maior confiabilidade na escolha do melhor modelo analisou-se as estatísticas apresentadas anteriormente como os coeficientes de determinação (R^2 ajustado) e o erro padrão da estimativa ($Syx\%$) de cada um. O modelo de Shumacher-Hall (Log) apresentou um bom coeficiente de determinação (R^2 ajustado), porém o seu erro padrão da estimativa está acima dos demais modelos vistos, da mesma forma ocorre também para o modelo de Spurr (Log). Já o modelo de Takata apresentou um coeficiente de determinação (R^2 ajustado) menor, mas o seu erro padrão da estimativa foi o melhor entre (Spurr (Log) e Shumacher-

Hall (Log), demonstrando ser bastante considerável sendo escolhido como o melhor modelo ajustado. Resultado este que também foi encontrado por Miguel (2009), em plantios de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás.

CONCLUSÕES

Para uma estimativa rápida do volume individual ou do povoamento, onde plantios apresentem características semelhantes ao do presente estudo o fator de forma que melhor corrige o volume do cilindro para volume sólido é de 0,47;

No tocante a equações ajustadas para a obtenção da variável volume total, ao optar por estimativas utilizando equações de simples entrada (volume em função do DAP), o modelo de Brenac apresentou-se como o mais estável entre os diversos testados tornando-se o recomendável para o município e povoamentos com características semelhantes;

Para os modelos volumétricos de dupla entrada (volume em função do DAP e Altura) a equação advinda do modelo não linear de Takata apresentou-se como a mais estável dentre os diversos testados para a referida base de dados sendo ela a equação recomendada para a estimativa da variável volume total em plantios de *Eucalyptus grandis* no município de Rio Verde, Goiás ou para povoamentos que apresentem características semelhantes;

De forma geral os modelos volumétricos de dupla entrada apresentaram estatística de ajuste de precisão superior aos de simples entrada, o que já era esperado pelo fato do volume ser obtido por mais de uma variável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**. Lavras: UFLA, 2003. (Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Lavras).

MIGUEL, E. P. **Desenvolvimento de equações hipsométricas e volumétrica para estimar o volume total e comercial de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás**. Curitiba: UFPR, 2009. (Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná).

SILVA, W. F. **Ajuste de modelos volumétricos e de afilamento para plantios de (*Eucalyptus urophylla*) no município de Niquelândia – GO**. Mineiros: FIMES, 2008. (Monografia apresentada ao curso de Engenharia Florestal, oferecido pelas Faculdades Integradas de Mineiros).