

# ACURÁCIA DOS MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL DE CLONES DE *Eucalyptus sp.*

Cláudio Roberto Thiersch<sup>1</sup>, Jose Roberto Scolforo<sup>2</sup>, Antonio Donizette de Oliveira<sup>2</sup>,  
Romualdo Maestri<sup>3</sup>, Gabriel Dehon<sup>4</sup>

(recebido: 16 de dezembro de 2005; aceito: 25 de maio de 2006)

**RESUMO:** Com o presente estudo objetivou-se avaliar a precisão e a acurácia dos métodos de dois diâmetros, geométrico, das equações de simples entrada e das equações de dupla entrada, associadas ou não às relações hipsométricas, na estimativa do volume, com o intuito de definir uma estratégia precisa e de baixo custo que torne factível as avaliações de experimentos e as estimativas ao nível das árvores contidas nas parcelas do inventário florestal. A base de dados foi composta por 36 parcelas de 400 m<sup>2</sup>, em torno das quais foram cubadas 216 árvores. Avaliaram-se dois clones (híbridos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*), nas idades de 3, 4,5 e 6 anos, provenientes de três diferentes sítios, em áreas da Empresa Aracruz Celulose S.A., localizada na região leste do Brasil. Os métodos de simples entrada e o dos dois diâmetros não devem ser utilizados para estimar volume, quando existe necessidade de alta precisão. O método de dupla entrada, com a altura total real, foi preciso na estimativa do volume, porém, não foi exato em todas as situações de idade e sítio, abordadas neste estudo. O método geométrico foi preciso e exato para os dois clones, nas idades e sítios estudados, quando o diâmetro foi mensurado a 0,1 m, 1,3 m e na altura igual a  $((ht-2)/2)$ . O método geométrico original e o modificado foram precisos quando o diâmetro foi medido a 0,1 e 1,3 m de altura e quando os coeficientes angulares foram estimados. Porém, não foram exatos em todas as situações de idade e sítio estudadas. A mensuração dos diâmetros a 0,1m, 1,3 m e na altura igual a  $((ht-2)/2)$ , de uma única árvore em cada classe diamétrica, em cada interação sítio e idade, foi suficiente para propiciar estimativas precisas do volume das demais árvores a partir do método geométrico, em sua forma original ou modificada, associado a equações de estimativa dos coeficientes angulares.

Palavras-chave: Método de dois diâmetros, Método geométrico, Equações de simples entrada, Equações de dupla entrada.

## THE ACCURACY OF METHODS FOR ESTIMATING COMMERCIAL VOLUME OF *Eucalyptus sp.* CLONE WOOD

**ABSTRACT:** This study aimed at evaluating the precision and the accuracy of the following methods: Two diameters, geometric method, single entry equation, double entry equation associated or not with ipsometric relation in the estimation of volume, for defining a precise and low cost strategy for trials both for individual trees and for forestry inventory parcels. Data base used encompassed 36 parcels of 400 m<sup>2</sup>. Around the parcels, 216 trees were sealed. Two clones (hybrid of *E. grandis* and *E. urophylla*), at the ages of 3; 4, 5 and 6 years, belonging to three different sites of a farm owned by Aracruz Celulose S. A., in East Brazil. The single entry method and the method of the two diameters should not be used for determining volume, if high precision is sought. The double entry method, with real total height, was precise in evaluating volume; however it was not exact enough in all site index situations. The geometric method was precise and exact for the two clones for all ages and site index studied, when the diameters were measured at 0.1m, 1.3m of height and the angular coefficients were estimated, however it was not exact enough for all situations studied. The diameters mensuration at 0.1m, 1.3m and  $(ht-2)/2$  of height, of a single tree in each diametric class, for each site-age interaction, was sufficient for allowing precise estimation of volume of the remaining trees, according to the geometric method, in its original or modified form, associated to the estimative equations of the angular coefficients.

Key words: Two diameter method, geometric method, single entry equation, double entry equation.

### 1 INTRODUÇÃO

A maioria das metodologias desenvolvidas para estimativa do volume de árvores considera que, se o volume de uma árvore foi determinado corretamente,

o valor encontrado é válido para outra árvore de igual diâmetro, altura e forma.

Dentre as metodologias que seguem este princípio, podem-se citar: as equações de simples entrada, as equações de dupla entrada, associadas

<sup>1</sup>Engenheiro Florestal, M. Sc. – Votorantim Celulose e Papel – Rodovia SP 255 – Km 41,2 – 14.210-000 – Luis Antônio, SP – crthiersch@vcp.com.br

<sup>2</sup>Professor da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Departamento de Ciências Florestais – Cx. P. 3037 – 37.200-000 – Lavras, MG – jscolforo@ufla.br, donizette@ufla.br

<sup>3</sup>Engenheiro Florestal, DS – Aracruz Celulose S/A – Rodovia Aracruz/Barra do Riacho, Km 25 – 29197-000 – Aracruz, ES – rmaestri@aracruz.com.br

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, DS – Aracruz Celulose S/A – Rodovia Aracruz/Barra do Riacho, Km 25 – 29197-000 – Aracruz, ES.

ou não às relações hipsométricas, o método dos dois diâmetros e o método geométrico.

As equações de simples entrada, em que o volume é função somente do diâmetro das árvores, são normalmente aplicadas quando a correlação entre o diâmetro e a altura é muito forte, ou seja, onde há bastante homogeneidade no desenvolvimento em altura das árvores de mesmo diâmetro.

Por sua vez, as equações de dupla entrada, em que o volume é em função do diâmetro e da altura, são aplicadas para povoamentos em que há uma maior heterogeneidade no desenvolvimento da altura das árvores com mesmo diâmetro. O problema em se utilizar as equações de dupla entrada é a necessidade de se mensurar a altura total, fato que aumenta o custo do inventário florestal. Para minimizar este fato, pode-se associar relações hipsométricas às equações de dupla entrada. De maneira geral, a correlação altura-diâmetro não é muito forte, por isso, uma forma para tentar aumentá-la é ajustar uma relação hipsométrica para cada parcela, controlando-se automaticamente fontes de variação como a idade, a produtividade do local, a densidade do povoamento, o manejo adotado e o material genético.

O método dos dois diâmetros, apresentado por Silva et al. (1993), visa identificar qual porção da árvore tem seu volume altamente correlacionado com o volume total da árvore de interesse. Franco et al. (1998) testaram esta metodologia para *Eucalyptus camaldulensis* e definiram os dois diâmetros a 1,30 m e a 3,0 m de altura na árvore.

O método geométrico baseia-se em conceitos de geometria analítica e preconiza que é possível estimar os diâmetros a qualquer altura da árvore. Andrade (2001) sugere a tomada de diâmetros a 0,30 metros, a 1,30 m, na metade da altura menos dois, além da altura total da árvore.

Desta forma, o objetivo geral deste estudo foi avaliar a precisão e a acurácia do método de dois diâmetros, geométrico, das equações de simples entrada e das equações de dupla entrada associadas,

ou não, às relações hipsométricas na estimativa do volume, com o intuito de definir uma estratégia precisa e de baixo custo para tornar factível as avaliações de experimentos e as estimativas ao nível das árvores contidas nas parcelas do inventário florestal.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e características da área

As áreas de estudo pertencem à Empresa Aracruz Celulose S.A., localizada na região leste do Brasil. Nestas áreas, pela classificação de Köppen, são encontrados os tipos climáticos **Aw** (Clima Tropical Úmido, com Estação Chuvosa e Seca no Inverno), **Am** (Clima Tropical Úmido, sem Estação Seca Pronunciada), **Af** (Clima Quente em que o mês mais frio atinge temperatura superior a 18°C) e **Am** (Clima Tropical chuvoso, de monção).

Os relevos são caracterizados por chapadões terciários levemente inclinados em direção ao litoral, com altitude variando de 30 a 100 metros e tabuleiros costeiros, que se caracterizam por apresentarem superfícies tabulares, recortadas por vales.

De acordo com o mapa de solos do Brasil, escala 1:5.000.000, (EMBRAPA, 2000), as unidades de solo principais, da região de estudo, são: Latossolo Amarelo Distrófico (LA1); Latossolo Amarelo Distrófico + Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico (LA5); Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico + Latossolo Amarelo Distrófico (Pd4); Podzólico Plíntico Distrófico Tb + Laterita Hidromórfica Distrófica Tb (Ppdi) e Podzol + Areias Quartzosas Marinhas (P3).

### 2.2 Seleção das árvores e obtenção dos dados

Os dados foram coletados de árvores pertencentes a plantios clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, implantados de forma intensiva na região de estudo.

Para cada clone, nas idades 3, 4,5 e 6 anos, foram selecionados 3 sítios, sendo um ruim, um médio e um bom. As equações de sítio utilizadas foram:

$$\text{Clone 1: } Hd_2 = 37,9586966 \times \left( \frac{Hd_1}{37,9586966} \right)^{\frac{\ln[1-\exp(-0,2728866I_2)]}{\ln[1-\exp(-0,2728866I_1)]}}$$

$$\text{Clone 2: } Hd_2 = 35,9729796 \times \left( \frac{Hd_1}{35,9729796} \right)^{\frac{\ln[1-\exp(-0,27898451I_2)]}{\ln[1-\exp(-0,27898451I_1)]}}$$

em que:

Hd<sub>1</sub>: Altura dominante na idade presente (m);

Hd<sub>2</sub>: Altura dominante na idade futura (m);

I<sub>1</sub>: Idade presente (anos); e

I<sub>2</sub>: Idade futura (anos).

O estudo foi conduzido em áreas de reforma com o intuito de reduzir os efeitos do regime de manejo na variabilidade do volume. Para cada combinação (clone, sítio e idade) foram selecionados, ao acaso, 2 talhões distribuídos entre as regiões do estudo. Foi lançada em cada talhão uma parcela de área circular de 400 m<sup>2</sup>, medindo todos os diâmetros, a altura total das árvores das duas fileiras centrais e a altura das 4 árvores dominantes.

A cubagem rigorosa foi realizada a partir de 3 classes diamétricas, usando o seguinte critério:

- classe diamétrica 1: inclui os indivíduos de diâmetro menor ou igual ao diâmetro médio, menos 0,5 desvio padrão;

- classe diamétrica 2: inclui os indivíduos de diâmetro maior que o diâmetro médio, menos 0,5 desvio padrão e os indivíduos de diâmetro menor ou igual ao diâmetro médio, mais 0,5 desvio padrão;

- classe diamétrica 3: inclui os indivíduos de diâmetro maior que o diâmetro médio mais 0,5 desvio padrão.

No total foram cubadas rigorosamente 216 árvores, distribuídas em 36 talhões. As árvores selecionadas foram derrubadas e cubadas rigorosamente pelo método de Smalian, nas seguintes alturas: 0,10; 0,40; 0,70; 1,00; 1,30; 1,60; 1,90; 2,20; 2,50; 2,80; 3,10; 4,00; 5,00 m e, assim, sucessivamente de um em um metro, até atingir o diâmetro mínimo de 7 cm com casca, que é o diâmetro mínimo utilizado para a produção de celulose. Os diâmetros nestas alturas foram mensurados em duas posições perpendiculares utilizando suta com graduação de 0,1 mm.

### 2.3 Equações de volume e hipsométricas

O volume comercial até o diâmetro mínimo de 7 cm foi a variável dependente utilizada para todos os modelos e situações avaliadas neste estudo, com exceção da relação hipsométrica em que a variável dependente foi a altura total (m) das árvores.

Foram avaliados os modelos de simples entrada propostos por Kopecky–Gehrhardt, Dissescu–Meyer,

Hohenadl–Krenm, Berkhout, Husch e Brenac. Dentre os modelos de dupla entrada foram avaliados os modelos propostos por Spurr, Schumacher–Hall, Honner, Ogaya, Stoate (australiana), Naslund, Takata, Spurr (logarítmica) e Meyer. Considerando a opção dos modelos de dupla entrada associados a relação hipsométrica e à equação de volume de dupla entrada, foram utilizados os modelos hipsométricos da Parábola, de Stofel, de Peterson e de Prodan.

### 2.4 Método dos dois diâmetros

Este método visa identificar qual porção da árvore de fácil mensuração tem seu volume altamente correlacionado com o volume comercial. Para identificar o segmento a ser quantificado, obteve-se o volume das seguintes seções: 0,1 - 1,3 m; 0,4 - 1,3 m; 0,7 - 1,3 m; 1,0 - 1,3 m; 1,3 - 1,6 m; 1,3 - 1,9 m; 1,3 - 2,2 m; 1,3 - 2,5 m; 1,3 - 2,8 m; 1,3 - 3,1 m; 1,3 - 4,0 m; 1,3 - 5,0 m; 1,3 - 6,0 m; 1,3 - 7,0 m; 1,3 - 8,0 m; 1,3 - 9,0 m; 1,3 - 10,0 m.

O volume de cada torete (Vi) foi correlacionado ao volume comercial da árvore (Vc), visando detectar qual seção apresentou maior correlação com o volume comercial de cada árvore, a partir da expressão :

$$Vc = \beta_0 + \beta_1 \times \left[ \frac{\pi}{80000} \times L \times (Dap^2 + D_i^2) \right],$$

em que:

Dap: Diâmetro a 1,3 m do solo;

D<sub>i</sub>: Diâmetro a iésima altura;

L: Comprimento da seção em relação ao diâmetro tomado a 1,3 m ; e

b<sub>i</sub>: Parâmetros a serem estimados.

Para selecionar os dois diâmetros, deve-se conciliar a precisão do método à praticidade que o mesmo pode oferecer. Desta forma, adotou-se o primeiro diâmetro como sendo o Dap e, para o segundo diâmetro, foram consideradas duas formas de obtenção: a) selecionar qual é a melhor posição ao longo do tronco, entre as alturas 0,1 e 10 metros, que possibilita obter um segmento mais correlacionado com o volume comercial da árvore, independentemente, se a altura é de fácil ou difícil mensuração do diâmetro; b) para maior praticidade do método dos dois diâmetros, não é interessante medir os dois

diâmetros, o que se pode fazer é correlacionar o diâmetro à determinada altura com o Dap. Os modelos testados neste estudo, para estabelecer uma relação linear entre o diâmetro a qualquer altura (Di) e o Dap, foram a reta, a hipérbole e a reta logartimizada. A identificação do par de diâmetros a ser utilizado na presente pesquisa foi obtida por meio da análise de variância, conforme ilustrado na Tabela 1 para os clones 1 e 2.

### 2.5 Método geométrico

A base teórica do método geométrico segue o seguinte postulado: “Existe um determinado ponto entre o Dap e a altura total de uma árvore, em que esta, ao ser dividida em dois intervalos, possibilita a minimização dos erros da estimativa do “taper” (GOMES, 1957).

Assim, para o desenvolvimento do método geométrico, foram utilizados os diâmetros medidos a 0,1 m (toco), a 1,3 m (Dap), na altura total (ht) e em um ponto entre o Dap e a altura total, denominada de altura relativa (hr). Este ponto, conforme Andrade

(2001) foi obtido pela expressão:  $hr = \frac{(ht - 2)}{2}$ .

O método consiste em, primeiramente, calcular os coeficientes angulares das retas que passam pelos pontos 0,1 – 1,3; 1,3 – hr; hr- ht. Assim, os coeficientes angulares da reta (CAR) podem ser calculados utilizando-se as expressões:

$$CAR_{Ij} = \frac{1,3 - h_{0,1j}}{(Dap_j - d_{h_{0,1j}})/2} \quad (1)$$

$$CAR_{IIj} = \frac{1,3 - hr_j}{(Dap_j - d_{hr_j})/2} \quad (2)$$

$$CAR_{IIIj} = \frac{hr_j - ht}{d_{hr_j}/2} \quad (3)$$

em que:

$(CAR_i)_j$ : Coeficiente angular da reta definida pelo i-ésimo intervalo na j-ésima árvore amostra, em que i = I, II e III;

$d_{h_{0,1j}}$ ,  $Dap_j$  e  $d_{hr_j}$ : Diâmetros medidos à  $h_{0,1}$ ,  $h_{1,3}$  e  $hr$  metros do nível do terreno, na j-ésima árvore amostra;

$ht_j$ : Altura total da j-ésima árvore amostra.

**Tabela 1** – Análise de variância entre os volumes comerciais reais e os estimados pelo método dos dois diâmetros, para os clones 1 e 2, considerando diferentes alturas de medição ou estimativa do segundo diâmetro.

**Table 1** – Variance analysis between the real and estimated commercial volumes, using the method of the two diameters, for clones 1 and 2, considering different measurement heights or the estimate of the second diameter.

Fator de variação	Clone 1	Clone 2
	GL	GL
Sítio	2	2
Idade	2	2
Sítio * Idade	3	3
CIDap (Sítio * Idade)	16	16
Erro 1 = árvore (CIDap*Sítio * Idade)	72	68
Tratamento	17	17
Tratamento * Sítio	34	34
Tratamento * Idade	34	34
Tratamento * Sítio * Idade	51	51
Tratamento * CIDap (Sítio * Idade)	272	270
Erro 2	1216	1145

CIDap – Classe de diâmetro; GL – Graus de liberdade e Tratamento – Volumes reais e estimados pelo método dos dois diâmetros para as posições de medição ou estimativa do segundo diâmetro: 0,1; 0,4; 0,7; 1,0; 1,3; 1,6; 1,9; 2,2; 2,5; 2,8; 3,1; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 e 10,0m. (OBS: Os dados estão desbalanceados).

Isolando  $d_{h_{ij}}$  em (1), (2) e (3), torna-se possível a estimativa dos diâmetros a qualquer altura. Assim, as expressões deverão ser aplicadas da seguinte forma:

Para  $0,1 < h_i < 1,3\text{m}$ , tem-se:

$$d_{h_{ij}} = \frac{2h_{ij} - 2,6}{\text{CAR}_{Ij}} + \text{Dap}_j$$

Para  $1,3 < h_i < \text{hr}$ , tem-se:

$$d_{h_{ij}} = \frac{2h_{ij} - 2,6}{\text{CAR}_{IIj}} + \text{Dap}_j$$

Para  $\text{hr} < h_i < \text{ht}$ , tem-se:

$$d_{h_{ij}} = \frac{h_{ij} - 1,3}{\text{CAR}_{IIj}} + \frac{h_{ij} - 1,3}{\text{CAR}_{IIIj}} + \frac{\text{Dap}_j}{2}$$

Estimados os diâmetros às várias alturas da árvore, o volume foi calculado utilizando-se a fórmula de Smalian.

### 2.6 Método geométrico modificado

Uma modificação no método geométrico foi proposta por Andrade (2001). Ela mantém as medições dos diâmetros nas mesmas posições do método original, ou seja, nas posições 0,1 m (toco), 1,3 m (Dap), altura total (ht) e em um ponto entre o

Dap e a altura total, denominada de altura relativa (hr), e expressa por  $\text{hr} = \frac{(\text{ht} - 2)}{2}$ . No entanto, além

desta altura relativa, calculam-se três novas alturas relativas, definidas pelas seguintes expressões:

$$\text{hr}_1 = \frac{(\text{ht} - 1,7)}{1,7}; \text{hr}_2 = \frac{(\text{ht} - 1,4)}{1,4} \text{ e } \text{hr}_3 = \frac{(\text{ht} - 1,1)}{1,1}$$

Seguindo o conceito do método original e adotando as deduções das novas expressões, as estimativas dos diâmetros a qualquer altura foram realizadas a partir das expressões:

Para  $0,1 < h_i < 1,3\text{m}$ , utilizou-se a mesma formulação do método original, ou seja,

$$d_{h_{ij}} = \frac{2h_{ij} - 2,6}{\text{CAR}_{Ij}} + \text{Dap}_j \tag{4}$$

Para  $1,3 < h_i < \text{hr}_1$ :

$$d_{h_{ij}} = \frac{2h_{ij} - 2,6}{\text{CAR}_{IIj}} + \text{Dap}_j \tag{5}$$

Para  $\text{hr}_1 < h_i < \text{hr}_3$ :

$$d_{h_{ij}} = (\text{hr}_1 - \text{hr}_2)_j^{-1} \left[ \frac{\text{hr}_1(\text{hr}_2 - 2\text{hr}_1 + 2h_i + 1,3) - h_i(\text{hr}_2 + 1,3)}{2\text{CAR}_{IIj}} + \frac{(\text{hr}_2 - \text{ht})(\text{hr}_1 - h_i) + \text{Dap}(h_i - \text{hr}_1)}{2\text{CAR}_{IIIj} + 4} \right] + \frac{(h_i + \text{hr}_1 - 2,6)_j}{(\text{CAR}_{IIj})_j} + \text{Dap}_j \tag{6}$$

Para  $\text{hr}_3 < h_i < \text{ht}$ :

$$d_{h_{ij}} = \left[ \frac{(h_i - \text{ht})}{(\text{hr}_3 - \text{ht})} \right]_j \left\{ \frac{\left[ \frac{\text{hr}_1(\text{hr}_2 - 2\text{hr}_1 + 2\text{hr}_3 + 1,3) - \text{hr}_3(\text{hr}_2 + 1,3)}{2\text{CAR}_{IIj}} + \frac{(\text{hr}_2 - \text{ht})(\text{hr}_1 - \text{hr}_3) + \text{Dap}(\text{hr}_3 - \text{hr}_1)}{2\text{CAR}_{IIIj} + 4} \right]_j}{(\text{hr}_1 - \text{hr}_2)_j} + \frac{(\text{hr}_3 + \text{hr}_1 - 2,6)_j}{(\text{CAR}_{IIj})_j} + \text{Dap}_j \right\} \tag{7}$$

## 2.7 Método geométrico associado a modelos de estimativa dos coeficientes angulares

Uma alternativa para dar maior praticidade ao método geométrico, é medir o diâmetro das árvores contidas nas parcelas, nas alturas 0,1m (toco) e 1,3 m (Dap). Já, na altura relativa, a exemplo do que se faz ao adotar a relação hipsométrica, deve-se medir apenas algumas árvores, que podem ser, no máximo, as mesmas da relação hipsométrica (SCOLFORO, 2005). Partindo-se dos dados obtidos, ajustam-se modelos para propiciar a estimativa dos coeficientes angulares das árvores não mensuradas na parcela do inventário florestal. Os modelos ajustados neste estudo são mostrados na Tabela 2.

## 2.8 Critérios para seleção dos modelos volumétricos

### 2.8.1 Análise de regressão

Para selecionar as equações que tiveram melhor desempenho na estimativa do volume de cada clone, foram avaliados o coeficiente de determinação corrigido ( $R^2$ ), em porcentagem (%), o erro padrão residual (Syx), na escala original da variável dependente ( $m^3$ ) e em porcentagem (%), e a análise gráfica da sobreposição das variáveis dependentes, reais e estimadas.

### 2.8.2 Análise de variância

Os modelos selecionados também foram submetidos à análise de variância, visando verificar se os valores médios estimados por estes variavam ou não em relação aos valores médios reais, em cada idade, sítio, interação sítio e idade e classe de diâmetro dentro da interação sítio e idade, conforme esquema básico mostrado na Tabela 3 para os clones 1 e 2. Nos casos em que ocorreram diferenças significativas, foi executado o teste de média Scott-Konott (SCOTT & KNOTT, 1974), considerando o nível de significância  $\alpha=0,05$ .

Para a análise de variância e para o teste de média foram considerados os seguintes tratamentos: Tratamento 1= Volume comercial real; Tratamento 2 = Volume comercial estimado pela equação de dupla entrada, com altura total real;

Tratamento 3 = Volume comercial estimado pela equação de dupla entrada, com altura total estimada pela relação hipsométrica;

Tratamento 4 = Volume comercial estimado pela equação de simples entrada;

Tratamento 5 = Volume comercial estimado pelo método dos dois diâmetros, com o segundo diâmetro real;

Tratamento 6 = Volume comercial estimado pelo método dos dois diâmetros, com o segundo diâmetro estimado;

Tratamento 7 = Volume comercial estimado pelo método geométrico utilizando a forma original, com o coeficiente angular da reta real;

Tratamento 8 = Volume comercial estimado pelo método geométrico utilizando a forma modificada, com o coeficiente angular da reta real;

Tratamento 9 = Volume comercial estimado pelo método geométrico utilizando a forma original, com o coeficiente angular da reta estimado;

Tratamento 10 = Volume comercial estimado pelo método geométrico utilizando a forma modificada, com o coeficiente angular da reta estimado.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Métodos de estimativa de volume

#### 3.1.1 Estimativa do volume de acordo com a equação de simples entrada

Na Tabela 4 são apresentadas, para os clones 1 e 2, as equações de simples entrada selecionadas e provenientes do modelo de Kopezky e Gehart, assim como suas medidas de precisão, para estimar o volume comercial. Pela Figura 1 mostra-se as sobreposições gráficas dos volumes comerciais reais pelos volumes comerciais estimados provenientes das equações selecionadas.

As equações selecionadas para estimar o volume comercial, até o diâmetro mínimo de 7 cm, apresentaram valores de coeficiente de determinação corrigido iguais a 94,77% e 93,74% e erros padrões residuais iguais a 11,63% e 12,26% para os clones 1 e 2, respectivamente. Estes resultados são condizentes com outros trabalhos desenvolvidos sobre o tema na área florestal.

**Tabela 2** – Modelos ajustados para estimar os coeficientes angulares.**Table 2** – Adjusted models for estimating angular coefficients.

Coeficiente angular	Modelo estatístico ajustado
$(CAR_I)_j$	$\frac{Dap_j^2 ht_j}{CAR_{Ij}} = \beta_0 Dap_j^{\beta_1} + \varepsilon_j$
$(CAR_{II})_j$	$\frac{Dap_j^2 ht_j}{CAR_{IIj}} = \beta_0 Dap_j^{\beta_1} + \varepsilon_j$
$(CAR_{III})_j$	$\frac{Dap_j^2 ht_j}{CAR_{IIIj}} = \beta_0 Dap_j^{\beta_1} + \varepsilon_j$

$(CAR_I)_j$ ; Dap e ht – definidos anteriormente. Fonte: Andrade (2001).

**Tabela 3** – Esquema básico da análise de variância entre os volumes comerciais reais e estimados, dentre os métodos estudados para os clones 1 e 2.**Table 3** – Basic outline of the variance analysis between the real and estimated commercial volumes, for the studied methods for clones 1 and 2.

Fator de variação	Clone 1	Clone 2
	GL	GL
Sítio	2	2
Idade	2	2
Sítio * Idade	3	3
CIDap (Sítio * Idade)	16	16
Erro 1 = árvore (CIDap*Sítio * Idade)	72	68
Tratamento	10	10
Tratamento * Sítio	20	20
Tratamento * Idade	20	20
Tratamento * Sítio * Idade	30	30
Tratamento * CIDap (Sítio * Idade)	160	160
Erro 2	720	680

CIDap e GL – definidos anteriormente. (OBS: Os dados estão desbalanceados)

**Tabela 4** – Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações de volume de simples entrada, selecionadas e provenientes do modelo de Kopecky e Gehrart para os clones 1 e 2.**Table 4** – Estimated parameters and measures of precision of volume equations of single entrance, selected and coming from Kopecky and Gehrart model for clones 1 and 2.

Clone	Equações selecionadas	R <sup>2</sup> (%)	Syx (m <sup>3</sup> )	Syx (%)
1	$V = -0,06117 + 0,00112Dap^2$	94,77	0,02134	11,63
2	$V = -0,05059 + 0,00104Dap^2$	93,74	0,02117	12,26

V e Dap - definidos anteriormente; R<sup>2</sup> – Coeficiente de determinação corrigido e Syx – Erro padrão residual.

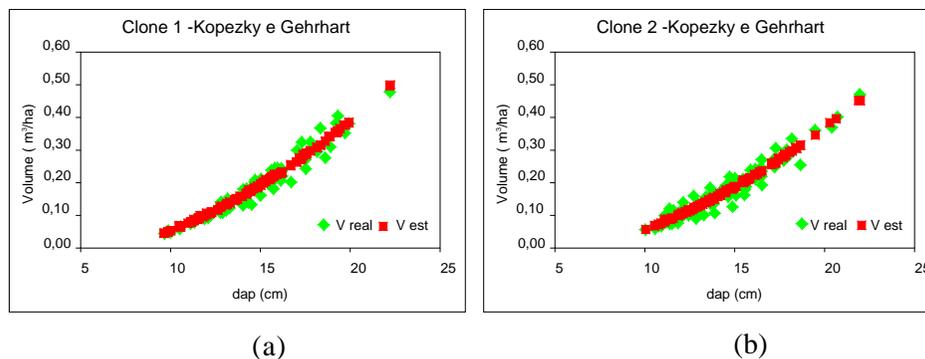
Entretanto, ao visualizar a Figura 1, observa-se que a sobreposição dos volumes comerciais reais pelos volumes estimados é apenas parcial, indicando que as estimativas não conseguem cobrir toda a faixa de variação da base de dados. Assim, embora as medidas de precisão das equações possam ser consideradas aceitáveis, a análise de resíduos indica que estimativas dos volumes somente em função dos diâmetros não devem ser adotadas.

### 3.1.2 Estimativa do volume de acordo com a equação de dupla entrada

Na Tabela 5 são apresentadas, para os clones 1 e 2, as equações de dupla entrada para estimar o volume comercial, selecionadas e provenientes do modelo de Meyer, assim como suas medidas de precisão. As estatísticas são acentuadamente

superiores àquelas obtidas para as equações de simples entrada. Quando comparadas com as estatísticas da Tabela 4, nota-se que houve acréscimo no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 4 % e redução dos erros padrões residuais, para os dois clones avaliados, superior a 4%.

Contrariamente à seção anterior, observou-se que as estimativas propiciadas pelas equações resultantes do modelo de Meyer se sobrepuseram aos volumes reais em quase toda a extensão dos dados da cubagem rigorosa. Observou-se, ainda, que este fato é mais acentuado para o clone 1, o que credencia o uso do modelo de Meyer de forma mais enfática para este clone. Embora possível de uso para o clone 2, deve-se atentar para a menor precisão das estimativas já que, entre 15 e 20 cm de Dap, parte da amplitude dos volumes reais não é captada pela equação selecionada.



**Figura 1** – Volumes comerciais reais e estimados pelas equações de simples entrada, selecionadas para os clones 1 (a) e 2 (b).

*Figure 1* – Real and estimated commercial Volumes forf single entrance equations, chosen for clones 1 (a) and 2 (b).

**Tabela 5** – Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações de volume de dupla entrada selecionadas e provenientes do modelo de Meyer, para os clones 1 e 2.

*Table 5* – Estimated parameters and measures of precision of double entrance volume equations, chosen and coming from Meyers model, for clones 1 and 2.

CN	Equações selecionadas	$R^2$ (%)	Syx ( $m^3$ )	Syx (%)
1	$V = 0,4057 - 0,05955Dap + 0,00189Dap^2 + 0,00309DapH - 0,00006463Dap^2H - 0,02128H$	98,60	0,01105	6,02
2	$V = 0,1809 - 0,03462Dap + 0,00134Dap^2 + 0,00153DapH - 0,00002548Dap^2H - 0,00784H$	97,58	0,01316	7,62

CN; V; Dap; H;  $R^2$  e Syx – definidos anteriormente.

### 3.1.2.1 Estimativa do volume de acordo com a equação de dupla entrada, associada à relação hipsométrica.

Na Tabela 6 mostra-se, para os clones 1 e 2 e para cada idade dentro de cada sítio, as equações hipsométricas selecionadas provenientes do modelo de Prodan, assim como suas medidas de precisão para estimar a altura total. Os ajustes foram satisfatórios, apresentando medidas de precisão superiores às encontradas por Franco et al. (1998), utilizando o mesmo modelo ajustado para povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*.

Para o clone 1, constatou-se que houve quase completa sobreposição dos volumes reais pelos volumes estimados. Entretanto as estimativas das árvores com Dap em torno de 18 cm não foram igualmente precisas. Já para o clone 2, a partir de 12,5 cm, os volumes estimados não conseguiram cobrir toda a faixa de variação da base de dados, o que leva à imprecisão das estimativas dos volumes nos extremos superior e inferior, quando considerado um valor qualquer de Dap. Este fato ocorreu, provavelmente, por que a variação de altura não foi suficientemente estimada pelo modelo hipsométrico.

### 3.1.3 Estimativa do volume com a utilização do método dos dois diâmetros

#### 3.1.3.1 Estimativa do volume com a utilização do método dos dois diâmetros, utilizando dois diâmetros reais

Ao utilizar a análise de variância identificou-se para os 2 clones que a interação tratamento-sítio e tratamento-idade, foram significativas. Após aplicação do teste de média, pôde-se então identificar, para as diferentes idades, quais os valores correspondentes ao segundo diâmetro propiciaram o menor desvio entre o volume estimado e o real. O mesmo procedimento foi adotado para o sítio. Entretanto, a posição em que o segundo diâmetro deve ser tomado para propiciar este erro mínimo, muda para cada idade e para cada sítio. Assim, ele não é factível de ser utilizado. Foi então detectada para os clones 1 e 2, uma posição para se tomar o segundo diâmetro que propiciasse erros próximos ao mínimo. Para o clone 1, esta posição foi aos 7 metros e para o clone 2, aos 8 metros.

Desta forma, na Tabela 7, são apresentadas, para os clones 1 e 2, as equações do método dos dois diâmetros para as posições de medição 7 e 8 metros, respectivamente, assim como suas medidas de precisão. Analisando as estatísticas e as sobreposições gráficas dos volumes comerciais reais pelos estimados, observou-se que sua precisão está situada entre a precisão da equação de dupla entrada e a da equação de simples entrada, o que pode credenciá-la para ser utilizada em estudos ou trabalhos que não exijam grande precisão nas estimativas.

#### 3.1.3.2 Estimativa do volume com a utilização do método dos dois diâmetros, utilizando o segundo diâmetro estimado

Na Tabela 8 são apresentadas as equações e suas medidas de precisão para estimativa do segundo diâmetro nas alturas 4 e 7 m para os clones 1 e 2, respectivamente.

Pela Tabela 9 mostra-se as equações do método dos dois diâmetros para a estimativa do volume comercial, considerando a estimativa do segundo diâmetro para as posições de medição 4 e 7 metros para os clones 1 e 2, respectivamente.

Comparativamente ao mesmo método, em que foram utilizados os diâmetros mensurados a 7 m, para o clone 1, e a 8 m, para o clone 2, verificou-se que estimar diâmetros nas alturas de 4 e 7 m não é uma boa alternativa. Os valores estimados do volume têm um desempenho similar às equações de simples entrada, ou seja, não conseguem recobrir a faixa de variação dos volumes reais.

#### 3.1.4 Estimativa do volume por meio do método geométrico

Na Figura 2 são apresentadas, para o clone 1 (Figura 2a e 2b) e para o clone 2 (Figura 2c e 2d), as sobreposições gráficas dos volumes comerciais reais pelos estimados através das formulações do método geométrico, em sua forma original e na forma modificada. Dentre todos os métodos avaliados neste estudo para estimativa do volume comercial, nota-se que este método foi o que apresentou maior sobreposição dos volume reais pelos volumes estimados. Dentro do espectro de análise de regressão, não há dúvida que este método foi mais preciso, inclusive que a tradicional equação de volume de dupla entrada.

**Tabela 6** – Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações hipsométricas selecionadas para os clones 1 e 2.**Table 6** – Estimated parameters and measures of precision of hypsometric equations, chosen for clones 1 and 2.

CN	S (m)	I (anos)	Equações selecionadas	R <sup>2</sup> (%)	Syx (m)	Syx (%)
1	23	4,5	$H = [Dap^2 / (-1,80165 + 0,59375Dap + 0,01653Dap^2)]$	79,41	0,9571	4,92
1	23	6	$H = [Dap^2 / (4,42257 - 0,33424Dap + 0,04216Dap^2)]$	98,44	0,2396	0,95
1	26	3	$H = [Dap^2 / (2,43799 - 0,10533Dap + 0,04310Dap^2)]$	90,82	0,4385	2,22
1	26	4,5	$H = [Dap^2 / (-0,61688 + 0,32382Dap + 0,02409Dap^2)]$	50,34	1,3998	6,11
1	26	6	$H = [Dap^2 / (2,47918 - 0,07476Dap + 0,03235Dap^2)]$	71,20	1,1889	4,55
1	29	3	$H = [Dap^2 / (6,99021 - 0,62014Dap + 0,05096Dap^2)]$	84,33	0,8901	3,82
1	29	4,5	$H = [Dap^2 / (-1,03101 + 0,47974Dap + 0,01329Dap^2)]$	96,94	0,4934	1,99
1	29	6	$H = [Dap^2 / (5,26284 - 0,37283Dap + 0,03901Dap^2)]$	93,37	0,6927	2,64
2	21	4,5	$H = [Dap^2 / (9,27705 - 1,20493Dap + 0,08678Dap^2)]$	77,29	0,6746	3,45
2	21	6	$H = [Dap^2 / (3,51494 - 0,36388Dap + 0,05222Dap^2)]$	60,45	0,8769	3,85
2	24	3	$H = [Dap^2 / (-3,44217 + 0,83687Dap + 0,01495Dap^2)]$	64,55	0,5423	3,28
2	24	4,5	$H = [Dap^2 / (-1,66493 + 0,49090Dap + 0,01759Dap^2)]$	86,77	0,4786	2,16
2	24	6	$H = [Dap^2 / (-1,34955 + 0,32620Dap + 0,02426Dap^2)]$	78,21	0,4773	1,92
2	27	3	$H = [Dap^2 / (4,66540 - 0,42814Dap + 0,05031Dap^2)]$	59,30	0,7680	3,29
2	27	4,5	$H = [Dap^2 / (-2,81568 + 0,60163Dap + 0,01290Dap^2)]$	90,36	0,6329	2,51
2	27	6	$H = [Dap^2 / (1,16055 + 0,04217Dap + 0,03068Dap^2)]$	94,88	0,3703	1,42

**Tabela 7** – Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações do método dos dois diâmetros, considerando as posições de medição do segundo diâmetro de 7 e 8 metros, para os clones 1 e 2, respectivamente.**Table 7** – Estimated parameters and measures of precision of two diameters equation method, considering the positions of measurement of the second diameter of 7 and 8 meters, for clones 1 and 2, respectively.

CN	Equações selecionadas	R <sup>2</sup> (%)	Syx (m <sup>3</sup> )	Syx (%)
1	$V = -0,05269 + 2,89515 \cdot \left[ \frac{\pi}{80000} \cdot (7 - 1,3) \cdot (Dap^2 + D_{7m}^2) \right]$	97,29	0,01535	8,37
2	$V = -0,04528 + 2,40809 \cdot \left[ \frac{\pi}{80000} \cdot (8 - 1,3) \cdot (Dap^2 + D_{8m}^2) \right]$	97,90	0,01218	7,00

D<sub>7m</sub> e D<sub>8m</sub> - Diâmetro a 7 e 8 m respectivamente; CN; V; Dap; R<sup>2</sup> e Syx – definidos anteriormente.

Este fato é ainda mais significativo, à medida que a cubagem rigorosa é simplificada, sendo substituída pela tomada de um diâmetro na posição ((altura total-2)/2), o que pode ser conseguido ao se fazer uso de um penta prisma com um suunto nele acoplado. Se por um lado o método implica na necessidade de medição das alturas das árvores, o que pode ser um

problema por elevar os custos de medição, por outro lado, propicia filosoficamente que as estimativas volumétricas estarão sempre atualizadas. Esta atualização se verifica tanto para árvores individuais como para parcelas, como se cubagens rigorosas estivessem sendo realizadas naquele local de medição por ocasião de cada avaliação.

Embora ótimos do ponto de vista de análise de regressão o método geométrico modificado é ainda, ligeiramente, superior ao método geométrico tradicional.

### 3.1.4.1 Estimativa do volume com a utilização do método geométrico associado a modelos de de estimativa dos coeficientes angulares

Uma alternativa, para que não sejam medidos os diâmetros de todas as árvores da parcela na posição ( $h_r = (ht-2)/2$ ), é, a exemplo do que se faz com a relação hipsométrica, medir a altura só de parte das árvores e, conseqüentemente, o diâmetro na posição  $h_r$ , utilizando o penta prisma somente nestas árvores. Assim os coeficientes angulares das retas serão estimados como mostrado nas Tabelas 10 e 11

para os clones 1 e 2, respectivamente.

Comparativamente ao procedimento anterior, que considera a obtenção dos coeficientes angulares diretamente da medição dos diâmetros das árvores, nas posições  $h_{0,1m}$ ,  $h_{1,3m}$  e  $h_r = ((ht-2)/2)$ , pode-se observar que para a situação em questão houve perda de precisão por terem sido estimados os coeficientes angulares.

Ainda, comparando-se a estimativa dos coeficientes angulares, e a proveniente da equação de dupla entrada, nota-se que, principalmente, para o método geométrico modificado, os desempenhos são bastantes similares, o que credencia o método para propiciar estimativas volumétricas precisas, além de apresentar um enorme espaço para que novas pesquisas possam torná-lo ainda mais preciso.

**Tabela 8** – Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações para estimativa do segundo diâmetro nas alturas 4 e 7 m, para os clones 1 e 2, respectivamente.

*Table 8* – Estimated parameters and measures of precision of equations for estimating the second diameter at the heights 4 and 7 m, for clones 1 and 2, respectively.

CN	Equações selecionadas	R <sup>2</sup> (%)	Syx (m)	Syx (%)
1	$D_{4m} = -0,25771 + 0,92061Dap^2$	97,19	0,41729	3,19
2	$D_{7m} = -1,15607 + 0,88581Dap^2$	92,90	0,63608	5,48

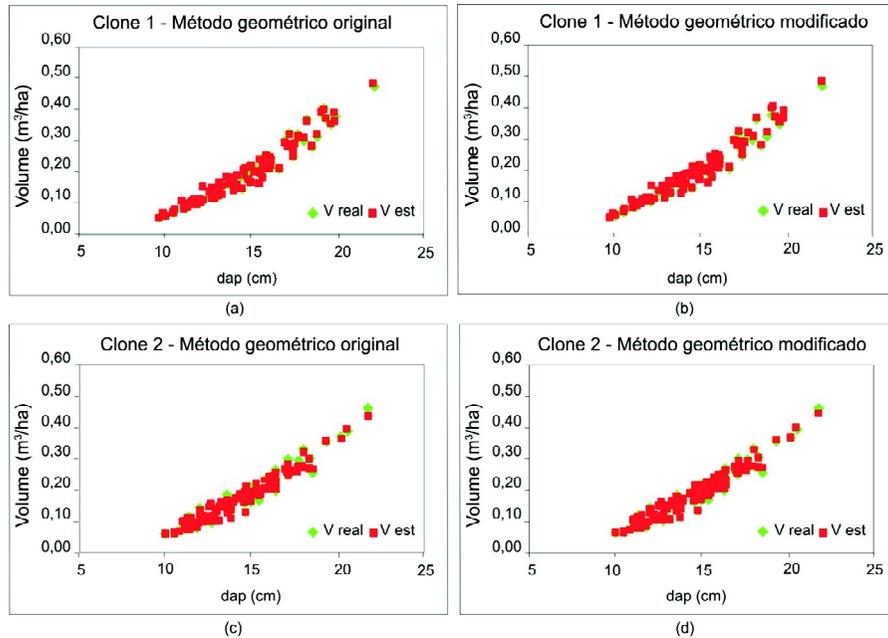
$D_{4m}$  - Diâmetro a 4 m; CN; Dap;  $D_{7m}$ ; R<sup>2</sup> e Syx – definidos anteriormente.

**Tabela 9** – Parâmetros estimados das equações do método dos dois diâmetros, para a estimativa do volume comercial, considerando a estimativa do segundo diâmetro para as posições de medição 4 e 7 metros para os clones 1 e 2, respectivamente.

*Table 9* – Estimated parameters of two diameters method equations, for estimating the commercial volume, considering the estimate of the second diameter for the measurement positions of 4 and 7 meters for clones 1 and 2, respectively.

CN	Equações selecionadas
1	$V = -0,06264 + 5,87421 \cdot \left[ \frac{\pi}{80000} \cdot (4 - 1,3) \cdot (Dap^2 + (-0,25771 + 0,92061Dap)^2) \right]$
2	$V = -0,04613 + 2,75589 \cdot \left[ \frac{\pi}{80000} \cdot (7 - 1,3) \cdot (Dap^2 + (-1,15607 + 0,88581Dap)^2) \right]$

CN; V e Dap – definidos anteriormente.



**Figura 2** – Volumes comerciais reais e estimados pelo método geométrico na proposta original e na modificada para os clones 1 (a, b) e 2 (c,d).

**Figure 2** – Real and estimated commercial volumes for the geometric method in the original and modified proposal for clones 1 (a, b) and 2 (c, d).

**Tabela 10** – Equações para estimar os coeficientes angulares para o clone 1.

**Table 10** – Equations for estimating angular coefficients for clone 1.

Coeficiente angular	Modelo estatístico ajustado	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$r_{y\hat{y}}$
$(CAR_I)_j$	$\frac{Dap_j^2 ht_j}{CAR_{Ij}} = \beta_0 Dap_j^{\beta_1} + \varepsilon_j$	-0,9748	3,2617	0,99
$(CAR_{II})_j$	$\frac{Dap_j^2 ht_j}{CAR_{IIj}} = \beta_0 Dap_j^{\beta_1} + \varepsilon_j$	-0,2425	3,1641	0,99
$(CAR_{III})_j$	$\frac{Dap_j^2 ht_j}{CAR_{IIIj}} = \beta_0 Dap_j^{\beta_1} + \varepsilon_j$	-0,8250	2,9068	0,99

$r_{y\hat{y}}$  – Coeficiente de correlação; CAR e Dap – definidos anteriormente.

### 3.1.5 Análise de variância para comparação dos métodos de estimativa do volume

Uma segunda alternativa utilizada para identificar a metodologia mais precisa para a estimativa dos volumes foi a análise de variância.

Na Tabela 12 são apresentados seus resultados para os clones 1 e 2, mostrando que todas as interações foram significativas. Este fato demonstra existir diferença entre pelo menos 1 dos tratamentos.

Nas Tabelas 13 e 14 estão os resultados do teste de média Scott-Knott ( $A=0,05$ ) para os clones 1 e 2, respectivamente. Para o clone 1 (Tabela 13), nenhum método apresentou média estimada semelhante à média real em 100 % dos casos. Entretanto, o método geométrico em sua forma tradicional, ou na forma modificada, apresentou esta semelhança, à exceção de um único caso, para a interação entre a idade 6 anos e o índice de sítio 23.

O tradicional método da equação de dupla entrada vem ocupando uma posição intermediária, idêntica, em número de casos, ao método geométrico em sua forma original ou modificada, para os quais houve estimativa dos coeficientes angulares. Já os métodos com base somente na variável diâmetro não devem ser utilizados, a exemplo do que já havia sido discutido quando o critério de análise foi a regressão.

**Tabela 11** – Equações para estimar os coeficientes angulares para o clone 1.

**Table 11** – Equations for estimating angular coefficients for clone 1.

Coeficiente angular	Modelo estatístico ajustado	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$r_{y\hat{y}}$
$(CAR_I)_j$	$\frac{Dap_j^2 ht_j}{CAR_{Ij}} = \beta_0 Dap_j^{\beta_1} + \varepsilon_j$	-1,7033	3,0474	0,99
$(CAR_{II})_j$	$\frac{Dap_j^2 ht_j}{CAR_{IIj}} = \beta_0 Dap_j^{\beta_1} + \varepsilon_j$	-0,1819	3,2834	0,99
$(CAR_{III})_j$	$\frac{Dap_j^2 ht_j}{CAR_{IIIj}} = \beta_0 Dap_j^{\beta_1} + \varepsilon_j$	-0,9691	2,8415	0,99

CAR; Dap e  $r_{y\hat{y}}$  – definidos anteriormente.

**Tabela 12** – Análise de variância entre os volumes comerciais reais e estimados dentre os métodos estudados para os clones 1 e 2.

**Table 12** – Variance analysis between real and estimated commercial volumes among the studied methods for clones 1 and 2.

Fator de variação	Clone 1		Clone 2	
	F	Pr > F	F	Pr > F
Sítio	8.71	0.0004	38.53	<.0001
Idade	36.33	<.0001	29.84	<.0001
Sítio * Idade	7.65	0.0002	6.71	0.0005
CIDap (Sítio * Idade)	19.91	<.0001	11.48	<.0001
Erro 1 = árvore (CIDap*Sítio * Idade)				
Tratamento	1.88	0.0454	6.99	<.0001
Tratamento * Sítio	13.41	<.0001	19.36	<.0001
Tratamento * Idade	31.63	<.0001	53.18	<.0001
Tratamento * Sítio * Idade	2.19	0.0003	2.71	<.0001
Tratamento * CIDap (Sítio * Idade)	2.77	<.0001	2.32	<.0001
Erro 2				

CIDap e GL – definidos anteriormente

Tratamento = T; T1 = Volume real; T2 = Volume estimado por Meyer com altura total real; T3 = Volume estimado por Meyer com altura total estimada por Prodan; T4 = Volume estimado por Kopezky e Gehrhart; T5 = Volume estimado pelo método dos dois diâmetros com o segundo diâmetro real; T6 = Volume estimado pelo método dos dois diâmetros com o segundo diâmetro estimado; T7 = Volume estimado pelo método geométrico utilizando a forma original com o coeficiente angular da reta real; T8 = Volume estimado pelo método geométrico utilizando a forma modificada com o coeficiente angular da reta real; T9 = Volume estimado pelo método geométrico utilizando a forma original com o coeficiente angular da reta estimado; T10 = Volume estimado pelo método geométrico utilizando o modelo modificado com o coeficiente angular da reta estimado.

**Tabela 13** – Síntese dos resultados do teste de média Scott-Knott ( $\alpha=0,05$ ), para as médias dos volumes comerciais reais e estimados pelas melhores alternativas, dentre os métodos estudados, para o clone 1.

*Table 13* – Synthesis of the results of the average Scott-Knott test ( $\alpha=0,05$ ), for the averages of the real and estimated commercial volumes for the best alternatives, among the studied methods, for clone 1.

FV	Tratamentos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2
3	1	1	1	4	3	4	1	1	2	2
4	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
7	3	2	3	1	1	1	3	3	2	2
8	2	3	3	1	1	1	2	2	2	2

FV – Fator de variação; FV 1: Idade 3 anos – Sítio 26; FV 2: Idade 3 anos – Sítio 29; FV 3: Idade 4.5 anos – Sítio 23; FV 4: Idade 4.5 anos – Sítio 26; FV 5: Idade 4.5 anos – Sítio 29; FV 6: Idade 6 anos – Sítio 23; FV 7: Idade 6 anos – Sítio 26 e FV 8: Idade 6 anos – Sítio 29.

Tratamentos – Citados na Tabela 2.18.

**Tabela 14** – Síntese dos resultados do teste de média Scott-Knott ( $\alpha=0,05$ ), para as médias dos volumes comerciais reais e estimados pelas melhores alternativas dentre os métodos estudados para o clone 2.

*Table 14* – Synthesis of the results of the average Scott-Knott test ( $\alpha=0,05$ ), for the averages of the real and estimated commercial volumes for the best alternative among the studied methods for clone 2.

FV	Tratamentos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	3	2	3	1	1	2	2
2	1	3	3	3	2	3	1	1	2	2
3	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2
6	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1
7	3	2	2	1	2	1	3	3	2	2
8	3	3	3	1	2	1	3	3	2	2

FV – Fator de variação; FV 1: Idade 3 anos – Sítio 24; FV 2: Idade 3 anos – Sítio 27; FV 3: Idade 4.5 anos – Sítio 21; FV 4: Idade 4.5 anos – Sítio 24; FV 5: Idade 4.5 anos – Sítio 27; FV 6: Idade 6 anos – Sítio 21; FV 7: Idade 6 anos – Sítio 24 e FV 8: Idade 6 anos – Sítio 27.

Tratamentos – Citados na Tabela 2.18.

Para o clone 2 (Tabela 14), assim como para o clone 1, que nenhum método apresentou média estimada semelhante à média real em 100 % dos casos. Novamente, somente o método geométrico em sua forma tradicional, ou na forma modificada, apresentou esta semelhança, à exceção de um único caso, para a interação entre a idade 4,5 anos e o índice de sítio 27. Diferentemente, para o clone 1, o método geométrico modificado, com estimação dos coeficientes angulares,

apresentou redução de precisão para o clone 2, assim como a equação de dupla entrada apresentou um aumento em sua precisão. Já os métodos para estimar volume com base somente na variável diâmetro, não devem ser utilizados sempre que se está interessado em alta precisão.

Fixando-se a atenção em áreas experimentais, nas quais, além de dezenas ou centenas de tratamentos, como é o caso do melhoramento

genético, não há árvores disponíveis para cubar, este método se torna uma ótima opção, pois estimará com precisão o volume dos diferentes materiais, já que dentre outras características tem a habilidade de contemplar a forma da árvore.

#### 4 CONCLUSÕES

O método de simples entrada e o método dos dois diâmetros não devem ser utilizados para estimar volume quando existe necessidade de alta precisão.

O método de dupla entrada, com a altura total real, foi preciso na estimativa do volume, porém, não foi exato em todas as situações de idade e sítio, abordadas neste estudo.

O método geométrico foi preciso e exato para os dois clones nas idades e sítios estudados, quando o diâmetro foi mensurado a 0,1 m, 1,3 m e na altura igual a  $((\text{altura total} - 2)/2)$ .

O método geométrico original e o modificado foram precisos, quando o diâmetro foi medido a 0,1 e 1,3 m de altura e os coeficientes angulares foram estimados, porém, não foi exato em todas as situações de idade e sítio estudadas.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, V. C. L. **Um método par descrever o perfil do tronco em árvore de eucalipto utilizando geometria analítica**. 2001. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S. A. no estado do Espírito Santo e no extremo sul do Estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto**. Rio de Janeiro, 2000.

FRANCO, E. J.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; LIMA, J. T. Eficiência na estimativa do peso seco para árvores individuais e definição do ponto ótimo de amostragem para determinação da densidade básica *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 77-99, nov. 1998.

GOMES, A. M. A. **Medição dos arvoredos**. Lisboa: Sá da Costa, 1957. 413 p. (Coleção A terra e o Homem, 30).

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: parte I: modelos de regressão linear e não linear; parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 356 p.

SCOTT, S. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

SILVA, J. A. A.; MACHADO, S. A.; BORDERS, B. E.; BAILEY, R. I. Uma nova metodologia para construção de tabelas volumétricas. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS-SBEF, 1993. p. 557-559.