

## COMPARAÇÃO ENTRE PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA INVENTARIAR PEQUENOS POVOAMENTOS FLORESTAIS

---

Eder Pereira Miguel<sup>1</sup>, Christian Dias Cabacinha<sup>2</sup>, Rodrigo Couto Santos<sup>3</sup>,  
Wendy Carniello Ferreira<sup>4</sup>, Fernando Ricardo Moreira<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Professor Mestre das Faculdades Integradas de Mineiros (emiguel@fimes.edu.br)

<sup>2, 3, 4</sup> Professor Doutor da Universidade Federal de Goiás

<sup>5</sup> Professor Mestre da Universidade Federal de Goiás

---

### RESUMO

A quantificação do volume sólido em povoamentos florestais é imprescindível para um adequado manejo das florestas e para a comercialização da madeira. Entretanto os métodos de amostragem tradicionalmente utilizados nos inventários florestais são onerosos e dispendiosos sendo de fundamental importância a utilização de métodos rápidos e precisos, como o método da árvore média e o da árvore média estratificada. Diante disso o objetivo deste trabalho foi comparar três métodos de amostragem para inventariar uma pequena floresta plantada, dois baseados somente em medições de diâmetro e o método tradicionalmente usado pelas empresas florestais, com o volume obtido pela cubagem rigorosa. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde considerou-se cada método um tratamento. Ao término da pesquisa observou-se que os métodos de obtenção do volume estudados não apresentaram diferenças significativas considerando o nível de significância  $\alpha = 0,05$ . Porém, os métodos baseados em medições somente de diâmetros, em geral apresentaram uma tendência em superestimar o volume. Os resultados permitiram concluir que todos os métodos forneceram estimativas confiáveis do volume por unidade de área podendo ser usados para realização de inventários florestais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inventário florestal; árvore média; manejo florestal.

### COMPARISON OF PROCEDURES USED FOR INVENTORY SMALL FOREST STANDS

#### ABSTRACT

The quantification of solid volume in forest stands is essential for a proper management of forests and for commercial timber. However sampling methods traditionally used in forest inventories are costly and expensive and thus extremely important to use rapid and accurate methods, the method of the average tree and the tree stratified medium. Given that the objective was to compare three sampling methods for inventorying small forest planted, two based solely on measurements of diameter and the method traditionally used by forest companies, with the volume obtained by scaling. We used a completely randomized design, where each was considered a treatment method. At the end of the study showed that the methods of obtaining the volume studied showed no significant differences considering the level

of significance  $\alpha = 0.05$ . However, the methods based only on measurements of diameters, in general showed a tendency to overestimate the volume. The results showed that all methods provided reliable estimates of volume per unit area can be used for forest inventories.

**KEYWORDS:** Forest inventory; average tree; forest management.

## 1. INTRODUÇÃO

Conhecer o volume de madeira de uma população é de suma importância, pois disso depende sua valorização e dos produtos florestais derivados. Além disso, o uso social, ecológico e economicamente correto destes recursos estão aumentando cada vez mais, colocando-os em evidencia. A preocupação com o planejamento, ordenamento e o uso da madeira cada vez exige uma maior precisão dos inventários florestais (SCOLFORO & MELLO, 1997).

Segundo BELCHIOR (1996), a quantificação do volume sólido em povoamentos florestais é imprescindível para a implementação de planos de manejo sustentável das florestas. Para COUTO & FERRARI (1989), a realização de Inventários Florestais no Brasil, vem se tornando uma prática trivial por parte das empresas que trabalham no setor madeireiro. Através do Inventário Florestal, podem se obter elementos valiosos para o desempenho do manejo, tal como aqueles para o desbaste dos povoamentos e da quantidade de madeira produzida pela floresta.

Todavia, segundo MACHADO & FIGUEIREDO FILHO (2006), a mensuração de todas as árvores em um maciço florestal, visando à quantificação do volume, é muitas vezes uma operação impraticável devido o tempo necessário para sua realização e economicamente se torna uma pratica inviável, por isso quase sempre as plantações florestais são inventariadas pelos procedimentos de amostragem, na qual uma parte da população é medida e os volumes obtidos nestas amostras são extrapolados para o restante.

Levando em consideração a importância de se conhecer com precisão o volume de uma floresta plantada, os procedimentos de amostragem são cada vez mais importantes para que os negócios florestais sejam de uma dada empresa ou de uma pequena propriedade rural, possam ser mais bem gerenciados, possibilitando análise econômico-financeira de projetos e de várias atividades ligadas ao manejo florestal.

Entretanto o inventário florestal é uma atividade onerosa e dispendiosa para o proprietário rural, uma vez que, a realização da mesma é normalmente cobrada por unidades amostrais lançadas e diárias. Existem alguns procedimentos para amostrar pequenos povoamentos florestais baseados em medidas somente de diâmetros com uma demanda de tempo inferior aos inventários tradicionais que podem resultar em um menor custo para o pequeno produtor, como é o caso do método da árvore média e o método da árvore média estratificada, mas não se conhece a confiabilidade dos volumes obtidos por tais procedimentos.

Neste contexto este trabalho teve como objetivo comparar três métodos de amostragem para inventariar uma pequena floresta plantada, sendo eles, a amostragem casual simples, o método da árvore média e o método da árvore média estratificada com o volume real obtido através da cubagem rigorosa.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Localização e caracterização da área

A área de estudo é de propriedade da Empresa Aracruz Celulose S.A., localizada no município de Aracruz, na região metropolitana do Estado do Espírito Santo (Figura 1). De acordo com GOLFARI et al. (1978), nesta região predominam solos do tipo Latossolo Amarelo, com horizonte A moderado, textura média e relevo plano. O clima, segundo a classificação de Köppen, é tipo Aw, clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno.



**FIGURA 1.** Localização da área estudada no Espírito Santo.  
Fonte: Cabacinha (2003).

### 2.2. Levantamento dos dados

Para o experimento proposto, foram estabelecidas, aleatoriamente, seis parcelas circulares de 360m<sup>2</sup>, seguindo um procedimento de amostragem casual simples, totalizando uma área de 2.160 m<sup>2</sup> de uma área total de 22,21 ha para um único material genético clonal, em uma mesma idade (seis anos e meio), para uma região considerada pela empresa de alta produção. O povoamento foi implantado em um espaçamento 3 x 3 m, foram amostradas 215 árvores. As parcelas foram localadas em áreas que apresentavam topografia plana.

Em cada uma das seis parcelas foram medidos com suta os diâmetros a 1,30 m de altura do solo de todas as árvores. As alturas totais das árvores das três fileiras centrais das parcelas foram medidas com o hipsômetro Suunto.

As principais fórmulas empregadas na execução da cubagem rigorosa são as formulas de Smalian, a de Huber e a de Newton. Porem vale ressaltar que dentro às mesmas, a de Smalian se sobre-sai, pois oferece resultados bem próximos os de Newton e em um intervalo de tempo menor (ANDRADE, 2001). No caso desta pesquisa, após o inventário, todas as 215 árvores das seis parcelas amostradas foram abatidas e cubadas rigorosamente pelo método de Smalian. Durante a

cubagem foram medidos, com suta, os diâmetros nas posições 0,10; 0,30; 0,50; 0,70; 0,90; 1,10; 1,30; 2,00; 3,00 metros e assim sucessivamente, até a altura total, permitindo assim obter os volumes totais reais das árvores individuais. Os volumes individuais foram então somados para obtenção do volume real da parcela.

Modelos hipsométricos (Quadro 1) foram ajustados para cada parcela e de acordo com as medidas de precisão da regressão selecionou-se a melhor equação para estimar a altura total das árvores que as alturas não foram mensuradas durante o inventário.

QUADRO 1. Modelos hipsométricos.

<b>Autor</b>	<b>Modelo</b>
Parabólico	$HT = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$
Stofel	$LnHT = \beta_0 + \beta_1 LnDAP + \varepsilon$
Curtis	$LnHT = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP} + \varepsilon$
Petterson	$HT = \left( \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP}} \right) + \varepsilon$
Prodan	$HT = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2} + \varepsilon$

Fonte: SCOLFORO (1997).

Para aplicação dos métodos da árvore média e árvore média estratificada seguiu-se a metodologia descrita por SCOLFORO & MELLO (1997). Utilizando os DAP's (diâmetro a altura do peito) das árvores das parcela calculou-se o diâmetro médio quadrático das árvores da população. O diâmetro que melhor expressa a árvore média da população florestal é o diâmetro médio quadrático que foi obtido a partir da seguinte expressão:

$$Dg = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (DAP)^2}{n}}$$

Em que,

DAP: diâmetro a altura do peito

n: número de árvores medidas nas parcelas

Dg: diâmetro médio quadrático.

Em seguida selecionaram-se cinco árvores que mais se aproximavam da árvore média ( $DAP \approx Dg$ ), ou seja, selecionaram-se cinco árvores que possuíam DAP igual ou próximo do Dg calculado. Essas cinco árvores foram cubadas rigorosamente pelo método de Smalian. Obteve-se o volume médio das árvores médias do povoamento e este foi então extrapolado para parcela.

Posteriormente obteve-se uma árvore média para cada classe diamétrica, definida para a floresta em questão. Assim, como foram definidas seis classes diamétricas, foram obtidos seis valores de diâmetro médio quadrático (um por

classe), os quais definiram as seis árvores modelos. Os volumes das árvores modelos foram multiplicados pelo número de árvores compreendidas em cada classe. O agrupamento dos diâmetros se deu a partir da aplicação do método estatístico adotado, trabalhando-se com um desvio.

Os volumes da cada classe foram somados e posteriormente calculou-se a média aritmética. Este volume médio correspondeu ao volume da parcela.

### 2.3 - Inventário tradicional

No sítio estudado retiraram-se aleatoriamente, da base de dados, cinco árvores por classes diamétricas e ajustaram-se os modelos volumétricos de dupla entrada apresentados no Quadro 2.

A partir da obtenção da equação volumétrica os volumes individuais das árvores das parcelas foram então estimados. Os volumes das parcelas foram obtidos e o inventário foi processado utilizando a formulação da amostragem casual simples (PÉLLICO NETTO & BRENA, 1994).

QUADRO 2. Modelos volumétricos de dupla entrada.

<b>Autor</b>	<b>Modelo</b>
Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 HT + \varepsilon$
Schumacher-Hall	$V = \beta_0 DAP^{\beta_1} HT^{\beta_2} + \varepsilon$
Honner	$V = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{HT}} + \varepsilon$
Ogaya	$V = DAP^2 (\beta_0 + \beta_1 HT) + \varepsilon$
Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 HT + \beta_3 HT + \varepsilon$
Naslund	$V = \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 HT + \beta_3 DAPHT^2 + \beta_4 HT^2 + \varepsilon$
Takata	$V = \frac{DAP^2 HT}{\beta_0 + \beta_1 DAP} + \varepsilon$
Spurr (log)	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Ln(DAP^2 HT) + \varepsilon$
Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAPHT + \beta_4 DAP^2 HT + \beta_5 HT + \varepsilon$

Fonte: SCOLFORO (1997).

### 2.4 - Análise de regressão

Para selecionar a relação hipsométrica e a equação de volume que tiveram o melhor desempenho nas estimativas de altura e volume, foram avaliados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), corrigido em porcentagem, o erro padrão residual ( $S_{yx}$ ), na unidade da variável dependente (m) e em porcentagem, e a análise gráfica dos resíduos.

### 2.5 - Avaliação dos métodos de estimativa do volume por unidade de área

Para a avaliação dos métodos de estimativa do volume por unidade de área, neste caso optou-se por utilizar testes de média.

Na identificação e avaliação dos métodos que propiciaram estimativas do volume semelhantes aos volumes reais das parcelas, obtidos da cubagem rigorosa foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, onde as equações de volume é o tratamento um (1), o método da árvore média é o tratamento dois (2), o método da árvore média estratificada é o tratamento três (3), e a cubagem rigorosa é o tratamento quatro (4), sendo ela também a testemunha.

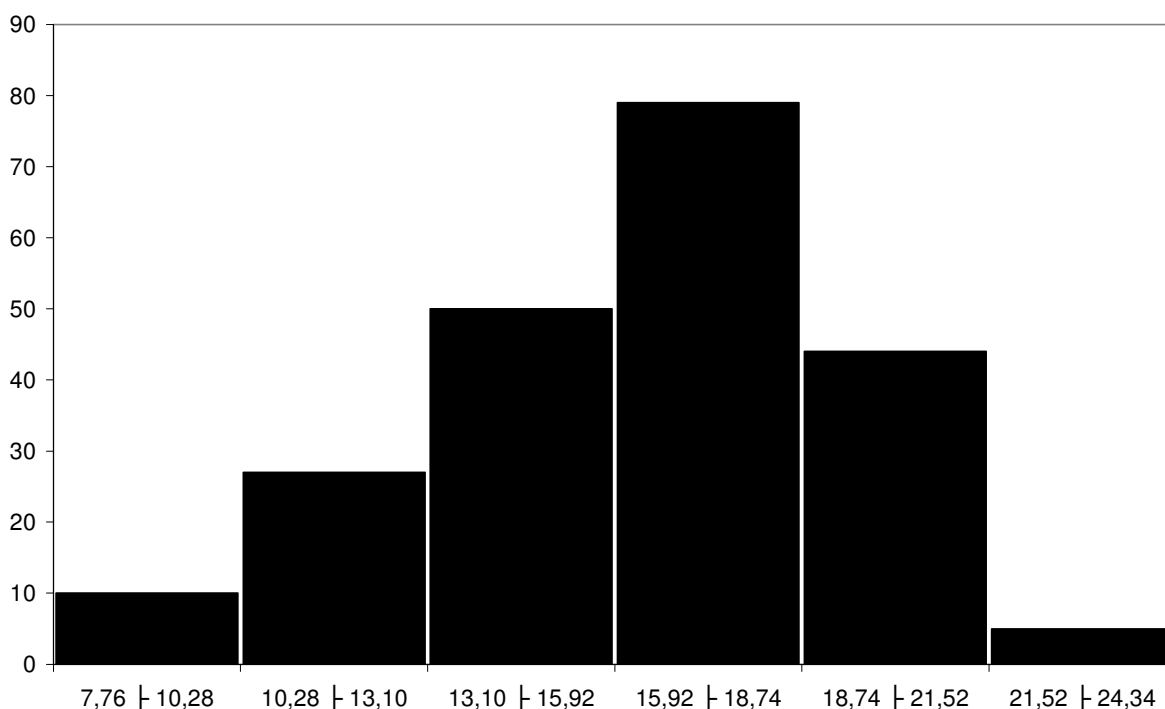
Quando “F” foi significativo considerando o nível de significância  $\alpha = 0,05$ , procedeu-se o desdobramento do tratamento, aplicando-se o teste de *Scott-Knott* para as médias dos volumes estimados.

O erro e porcentagem (%) dos diferentes procedimentos, comparados com a cubagem rigorosa foram obtidos obedecendo a seguinte expressão:

$$E(\%) = \frac{V_{CUBAGEM} - V_{PROCEDIMENTOS}}{V_{CUBAGEM}} * 100$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as informações levantadas durante o inventário florestal foi possível gerar o histograma de freqüência dos diâmetros (Figura 2).



**FIGURA 2.** Distribuição diamétrica das árvores presente nas parcelas

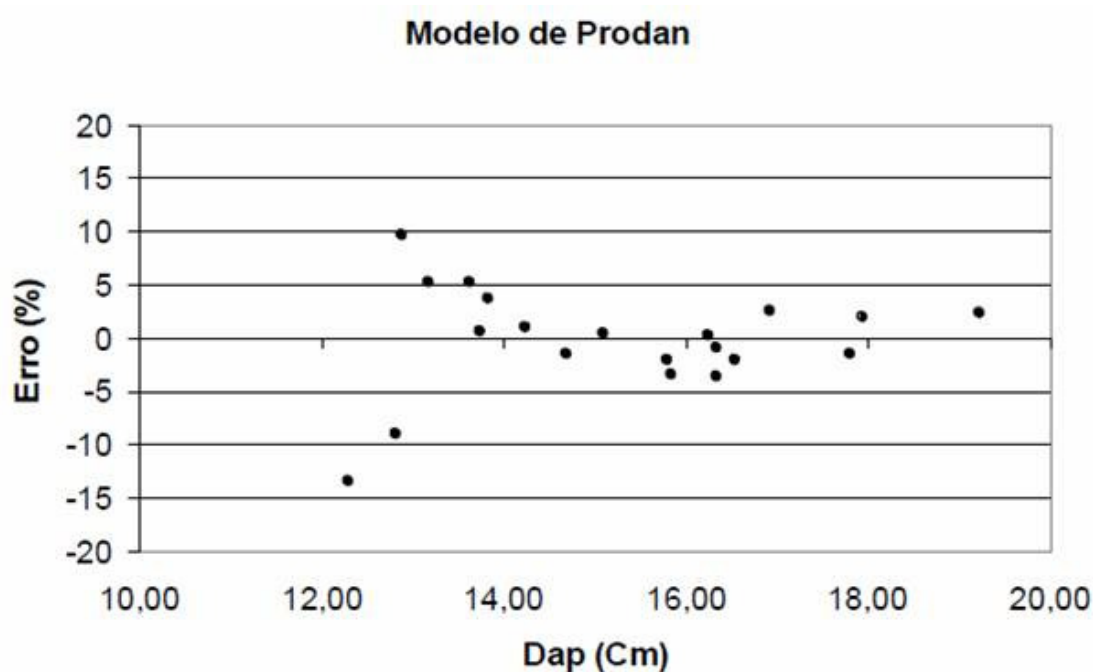
Analisando a Figura 2, foi possível observar a distribuição diamétrica das árvores das seis parcelas. Verifica-se que os dados possuem uma distribuição tendendo a normal, com poucos indivíduos nas extremidades (menores e maiores classes), porém com certa assimetria à esquerda, com grande concentração de indivíduos nas maiores classes. Também é possível observar que a classe 4 (15,92 a 18,74) apresentou a maior freqüência de indivíduos ( $\approx 37\%$  do total amostrado).

Com relação à estimativa de altura, dos modelos hipsométricos ajustado, o melhor modelo para a área em estudo foi o de Prodan:

$$Ht = \frac{DAP^2}{8,4655 - 0,6873 * DAP + 0,0476 * DAP^2}$$

A relação hipsométrica ajustada apresentou um R<sup>2</sup> = 97,35%, um Erro Padrão Residual de 0,4782 metros.

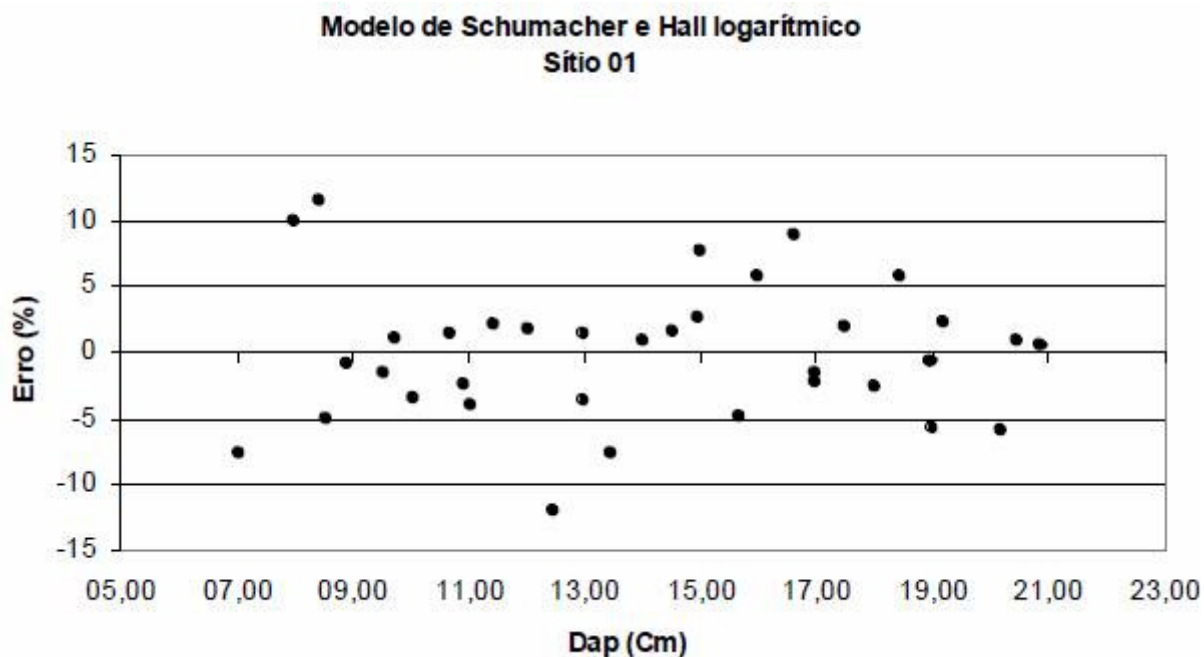
A Figura 3 mostra a dispersão gráfica dos resíduos, onde é possível verificar uma certa tendenciosidade na primeira classe diamétrica, entretanto sem nenhuma tendência nas outras classes, com erros variando entre ± 20%.



**FIGURA 3.** Distribuição gráfica dos resíduos gerados pela relação hipsométrica selecionada.

DIMITROV & VICHEV, 1980 Apud CABACINHA (2003), testaram modelos para relação hipsométrica em povoamento de *Pinus sylvestris* e considerou o modelo de Prodan como o mais adequado de todos testados por eles. Da mesma forma, BARROS (2000), estudando o comportamento de modelos hipsométricos para plantação de *Pinus oocarpa*, considerou também este modelo o mais adequado para estimativa de altura.

Para a estimativa de volume, de todos os modelos volumétricos analisados, foi selecionado o modelo de Schumacher e Hall Logarítmico. A equação volumétrica gerada pelo ajuste foi  $LnVt = - 10,5904 + 1,8905LnDap + 1,2173LnHt$ , que apresentou um R<sup>2</sup> = 99,61% e um erro padrão residual de 0,0118 m<sup>3</sup>. A Figura 4 mostra a dispersão gráfica dos resíduos, sem nenhuma tendência nas diferentes classes diamétricas, com erros variando entre ± 15%.



**FIGURA 4.** Distribuição gráfica dos resíduos gerados pelo modelo volumétrico selecionado.

Observando a Figura 4, é possível verificar que a distribuição gráfica dos resíduos não apresentou tendenciosidade. Os resultados estão em consonância com a literatura que considera o modelo de Schumacher e Hall e o da variável combinada (Spurr) como modelos superiores dentre os vários modelos volumétricos (SCOLFORO, 1997).

A Tabela 1 mostra os volumes ( $m^3$ ), obtidos por parcelas, as médias, o coeficiente de variação e o erro em relação ao volume da cubagem rigorosa (testemunha) gerado por cada método, utilizando as equações de volumes, o método da árvore média, o método da árvore média estratificada. Estas informações possibilitaram a comparação dos volumes obtidos por parcelas, com suas respectivas médias através dos diferentes métodos utilizados.

**TABELA 1:** Volume ( $m^3$ ) de cada parcela e suas respectivas médias, coeficientes de variação e erros, pelos diferentes procedimentos de obtenção de volume.

<b>Parcela</b>	<b>Equação de Volume</b>	<b>Árvore Média</b>	<b>Árvore Média Estratificada</b>	<b>Cubagem Rigorosa</b>
01	10,2664	12,2582	10,9858	10,4217
02	9,0196	10,8509	10,3717	9,1785
03	11,1767	12,6973	11,6247	11,3489
04	11,5543	11,7198	11,0054	11,7026
05	9,7651	10,7330	9,5120	9,9015
06	9,9936	10,5218	10,2424	10,1446
<b>Média</b>	<b>10,2962</b>	<b>11,4635</b>	<b>10,6237</b>	<b>10,4496</b>
<b>CV%</b>	<b>9,07</b>	<b>7,82</b>	<b>6,95</b>	<b>8,97</b>
<b>E%</b>	<b>+ 1,47</b>	<b>- 9,70</b>	<b>- 1,67</b>	<b>---</b>



Analisando a Tabela 1 verifica-se que para todos os métodos utilizados houve uma baixa variação de volume (CV < 10%). Este resultado está associado ao fato dos dados terem sido coletados em um plantio clonal onde há baixa variação de diâmetros e alturas e conseqüentemente de volumes.

Os métodos que mais se aproximaram do volume real, quando os erros gerados foram analisados, foram: o inventário tradicional, o que já era esperado, e o método da árvore média estratificada, que forneceram erros quando comparados com o volume real de + 1,47% e - 1,67, respectivamente. O método da árvore média apresentou um erro de - 9,70% em relação ao volume obtido pela cubagem rigorosa.

Os métodos baseados em medições somente de diâmetros em geral apresentaram uma tendência em superestimar o volume (erros negativos), acredita-se que tal resultado esteja associado ao comportamento da variável diâmetro na população avaliada. A distribuição diamétrica revelou certa assimetria a esquerda (Figura 2), ou seja, uma maior concentração de indivíduos nas maiores classes de diâmetro o que pode ter levado a esta superestimativa do volume.

A Tabela 2 mostra os resultados da análise de variância para os dados analisados.

**TABELA 2.** Análise de variância (ANOVA) para os dados de volume obtidos pelos tratamentos avaliados.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>
Tratamento	3	4,8855	1,6285	<b>2,1020 N. Sig.</b>
Erro	20	15,4926	0,7746	
Total Corrigido	23	20,3781		
<b>CV%</b>	<b>8,22</b>	-	-	-
<b>Média Geral</b>	<b>10,7082</b>	-	-	-

SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; CV% = Coeficiente de variação em porcentagem.

Analisando-se os resultados da ANOVA, é possível observar que os métodos de obtenção do volume estudados não apresentaram diferenças significativas considerando o nível de significância  $\alpha = 5\%$ .

Um ponto importante a ser mencionado sobre o método da árvore média, e árvore média estratificada, foi o número de árvores cubadas em cada método. Para a árvore média cubou-se apenas cinco árvores, obteve-se o volume médio dessas cinco para obter o volume de cada parcela. Já na árvore média estratificada, cubou-se também cinco árvores, porém por classe diamétrica, o número mínimo recomendado pela literatura (SCOLFORO & MELLO, 1997). Aumentando o número de árvores a serem cubadas na primeira situação, acredita-se que os volumes obtidos sejam mais próximos ao da cubagem rigorosa diminuindo ainda mais os erros, dando uma maior precisão e confiabilidade aos inventários pelos métodos baseados apenas na medição dos diâmetros.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nesta pesquisa foi possível concluir que:

Os três métodos avaliados podem ser utilizados para estimativas de volume por unidade de área, pois não apresentaram diferenças estatísticas significativas com o

volume da parcela cubada e geraram erros sempre inferiores a 10%, que é o erro máximo admitido para o inventário em florestas plantadas.

Para situações semelhantes às que foram realizadas este experimento, indica-se a utilização de qualquer um dos métodos em plantios homogêneos com área de até 50 hectares.

Os métodos baseados somente nas medições de diâmetro têm em comum a característica de superestimar o volume quando comparado com o volume obtido pela cubagem rigorosa.

Como os dados utilizados neste trabalho foram obtidos de plantios clonais, onde existe uma grande homogeneidade de forma, sugere-se que o mesmo deva ser repetido em áreas heterogêneas para verificar se os resultados se comportam da mesma maneira.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, D. A. **Comportamentos de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantação de Pinus oocarpa na região de Agudos-SP em diferentes idades e números de desbastes.** Lavras: UFV. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, 2000. 115p.

BELCHIOR, P. R. M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no município de Rio Vermelho.** Viçosa: UFV. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 1996. 75 p.

CABACINHA, C. D. **Um método para realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa.** Lavras: UFLA, 2003. 166p.

COUTO, H. T. Z. do; FERRARI, M. P. **Filosofia de trabalhos de uma elite de empresas brasileiras.** Hipsômetro do IPEF/ CEF-ESALQ. Circular Técnica n° 53, Julho de 1989.

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil.** Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978.

MACHADO, S. A; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** Guarapuava: UNICENTRO. 2ª. ed. p. 316, 2006.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal.** Curitiba, UFPR/UFMS, 1994. 245 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos da madeira.** Lavras: UFLA/FAEP, 1997. 292p.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário florestal.** Lavras: UFLA/FAEP, 1997. 310p.