

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE VOLUME PARA UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake NO PLANALTO DA CONQUISTA- BA

Tiago Borges Rocha¹; Christian Dias Cabacinha²; Rafael Costa de Almeida³;
Alessandro de Paula⁴; Rodrigo Couto Santos⁵

¹Aluno do curso de Engenharia Florestal, UESB, Vitória da Conquista-Bahia – Brasil
Brasil (thyaggw@hotmail.com);

²Professor Doutor do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG;

³Aluno do Curso de Engenharia Florestal da UESB;

⁴Professor Doutor do Depto. de Engenharia Agrícola e Solos da UESB.

⁵Professor Doutor da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Goiás –
Goiânia, Goiás – Brasil

RESUMO

No setor florestal, quantificar o volume de madeira por unidade de área é um processo de relevante importância. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento dos métodos de obtenção de volume para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake oriundo de sementes na região do Planalto da Conquista, município de Vitória da Conquista/BA. Os métodos testados foram: Árvore Média, Árvore Média Estratificada, Inventário Tradicional, Fator de Forma Médio, Fator de Forma por Classe Diamétrica, Quociente de Forma de Girard Médio, Quociente de Forma de Girard por Classe Diamétrica, Método Geométrico Original e Método Geométrico Modificado. O volume da cubagem rigorosa foi calculado pelo método de Smalian. No geral, os métodos apresentaram resultados muito próximos, sendo que o método da Árvore Média Estratificada obteve valores mais próximos dos conseguidos pela Cubagem Rigorosa. Apenas o Método da Árvore Média subestimou o volume. O Quociente de Forma Médio e Quociente de Forma por Classe foram os únicos métodos cuja aplicação foi descartada para povoamentos conduzidos em condições semelhantes.

PALAVRAS CHAVE: Inventário florestal, método da árvore média, método geométrico.

EVALUATION OF VOLUME ESTIMATE METHODS FOR A STAND OF *Eucalyptus Urophylla* S. T. Blake IN PLANALTO DA CONQUISTA/BA

ABSTRACT

In the forestry sector, to quantify the wood volume for unit of area is a very important procedure. Therefore, the purpose of this study was evaluate the behavior of the methods of volume obtaining for a stand of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake from seeds in Planalto da Conquista, Vitória da Conquista/BA district. The tested methods were Medium tree, Stratified Medium Tree, Traditional Inventory, Form Factor Medium, Form Factor in Diameter Class, Form Quotient of Girard Medium, Form Quotient of Girard in Diameter Class, Original Geometric Method and Modified Geometric Method. The volume of the Log Measurement was calculated by the Smalian formula. In general, the methods showed results very alike, and the method of the Stratified Medium Tree obtained closer values of the Log Measurement . Just The Method of the Medium Tree underestimated the volume. The Form Quotient of

Girard Medium and the Form Quotient of Girard in Diameter Class were the only methods whose application was rejected for stands in similar conditions.

KEYWORDS: Forest inventory, method of the medium tree, geometric method.

INTRODUÇÃO

De acordo com PÉLLICO NETTO (2004), desde os primórdios da ciência florestal, há mais de 500 anos, a volumetria de árvores constituiu um tema relevante, dado a importância da madeira para a vida do homem, para a habitação, movelaria e a arte. Quantificar a madeira foi, portanto, importante para obtenção do seu estoque na floresta e, após o corte, disponibilizá-la à manufatura. Segundo FERREIRA *et al.* (1977), a determinação do volume de povoamentos florestais desperta a preocupação dos pesquisadores desde o século XIX, quando a implantação de florestas equiâneas gradativamente passou a ser mais pronunciada, e observada como bens econômicos, passíveis de melhores técnicas de exploração, submissas a sólidos preceitos biológicos, fisiológicos e econômicos.

Os procedimentos conhecidos na literatura para o conhecimento da volumetria, foram desenvolvidos ao longo dos dois últimos séculos, com expressiva contribuição dos biometristas alemães e de outros oriundos de países europeus, tendo sido ampliada a contribuição dos pesquisadores americanos e canadenses após a primeira grande guerra (PÉLLICO NETTO, 2004).

Segundo HUSH *et al.* (1972) citado por OLIVEIRA *et al.* (2005), para a realização do manejo florestal, visando à produção sustentável, é de fundamental importância conhecer as diversas características da floresta, as quais podem ser obtidas pelo inventário florestal, executado por meio da avaliação de parte da população, através de amostragem. A literatura é vasta quanto aos procedimentos de amostragem que podem ser utilizados na área florestal, contudo a escolha do procedimento depende das características da floresta, dos objetivos a serem alcançados, dos recursos disponíveis e da precisão requerida.

De acordo com SCOLFORO (1997), na área florestal há necessidade de monitorar o desenvolvimento dos povoamentos ou florestas através da medição das variáveis dendrométricas, como diâmetro, altura, área basal, volume, biomassa. Este monitoramento é efetuado por meio da seleção de uma amostra da população florestal a partir da qual se faz inferência para o restante da população.

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 (THIERSCH *et al.* 2006).

A estimativa do volume de árvores individuais é usualmente obtida por meio de equações de volume ou de afilamento. Para gerar essas equações são utilizados dados de cubagem de árvores abatidas ou de árvores cubadas ainda em pé, empregando-se instrumentos específicos como o telerelascópio, pentaprisma, ou um critério (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

De acordo com SOARES *et al.* (2006), o volume real de uma árvore pode ser considerado como uma porcentagem do volume de um cilindro, cuja definição se dá pelo DAP (diâmetro a altura do peito medido a 1,3 m do solo) e pela altura total ou comercial das árvores. Assim, essa relação entre os volumes é chamada de fator de forma. Ainda segundo o mesmo autor, o volume de uma árvore pode ser estimado

multiplicando-se o volume cilíndrico por um fator de forma médio apropriado para a espécie. De acordo com PÉLLICO NETTO (2004), este é o mais antigo procedimento conhecido na literatura e foi concebido, valendo-se do princípio geométrico da rotação dos corpos.

O quociente de forma é uma razão entre diâmetros e sua utilização é dada para estimar o volume. Embora menos preciso que o fator de forma, sua obtenção é mais fácil de ser conseguida, uma vez que não é necessário fazer o abate da árvore. O quociente de forma de Girard é dado pela razão entre o diâmetro tomado na altura 5,20 m e o DAP. Semelhantemente ao fator de forma, o volume de uma árvore pode ser estimado multiplicando-se o volume cilíndrico pelo quociente de forma de Girard (SCOLFORO & THIERSCH, 2004).

Para estimar o volume de um povoamento florestal em pequenas áreas, um método rápido e eficaz é o da árvore modelo, o qual consiste em selecionar no povoamento uma ou mais árvores padrão que o represente com base no diâmetro geométrico (SCOLFORO & MELLO, 2006). Ainda segundo o mesmo autor, o método da árvore média estratificada é um procedimento similar ao da árvore-modelo. Diferindo basicamente no fato de que a árvore modelo é obtida para cada classe diamétrica, sendo que cada classe de diâmetro é tratada como um estrato.

O método da altura relativa, caracteriza-se, então, por não ser necessário abater e cubar árvores amostra. Além disso, as informações, a serem obtidas com a árvore em pé, são medidas apenas para algumas árvores de cada parcela do inventário (ANDRADE & LEITE, 1998a e 1998b). Segundo SCOLFORO E THIERSCH (2004), o método geométrico possui também a vantagem de permitir a realização de medições de diâmetro com a árvore em pé, utilizando-se o Relascópio de Bitterlich ou um Pentaprisma.

Em face da precocidade do segmento florestal, sobretudo de plantios equiâneos, na região de Vitória da Conquista, é importante mensurar o estoque presente de madeira em povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, à luz de diferentes metodologias de obtenção de volume, cuja variação se dá quanto ao esforço de campo, ao tempo e aos custos e, desta forma contribuir com o crescimento do setor na região.

Diante desse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar o comportamento dos métodos Árvore Média, Árvore Média Estratificada, Inventário Tradicional, Fator de Forma Médio, Fator de Forma por Classe, Quociente de Forma Médio, Quociente de Forma de Girard, Método Geométrico Original e Método Geométrico Modificado, para estimar o volume de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake por unidade de área na região de Vitória da Conquista-BA.

METODOLOGIA

Área de estudo

Os dados foram coletados em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, localizado no Planalto da Conquista, no distrito de Veredinha, pertencente ao município de Vitória da Conquista – BA, entre os quadrantes E: 275900 m e N: 8305700 m no sistema de coordenadas UTM, com altitude de 838 m.

Segundo NOVAES *et al.* (2008), o Planalto de Conquista apresenta uma vegetação típica denominada Floresta Estacional Semidecidual Montana, também conhecida como “Mata de Cipó” a qual se estende por toda a região. Ainda segundo o mesmo autor, o clima local é semi-árido e considerado ameno em função da

altitude, a qual apresenta uma média de 800 m. A topografia é considerada de plana a levemente ondulada. Quanto a precipitação pluviométrica, esta varia de 700 a 1100 mm anuais, distribuídas nos meses de novembro a março, acusando um período seco que varia de quatro a cinco meses. A temperatura média anual é de 21°C. Quanto ao solo da região, trata-se do Latossolo Amarelo distrófico com baixo percentual de matéria orgânica.

Coleta de dados

Foram separadas, aleatoriamente, em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* oriundo de sementes, dez unidades amostrais circulares de 360 m² em uma área total de 17,58 ha, com idade de 57 meses, conduzidas em regime de alto fuste, espaçamento 3,0 x 2,5 m, totalizando 459 árvores amostradas.

Cubagem Rigorosa

No que se refere às estimativas de volume das árvores, foram cubadas rigorosamente com suta de 80 cm, todas as 459 árvores amostradas, as quais estavam em perfeito estado fitossanitário e antes de abatidas tiveram o DAP (Diâmetro a 1,3 m do solo) medido e marcado com giz. Sucedendo ao processo de abate, as alturas das árvores foram medidas com uma trena, onde o DAP, marcado com giz coincidiu com 1,30 m da trena, a fim de evitar problemas com a altura de corte. A cubagem foi realizada utilizando o método de Smalian, com as seguintes posições de medição: 0,10; 0,30; 0,50; 0,70; 0,90; 1,20; 1,30; 1,50; 1,80; 2,10; 2,40; 2,70; 3,00; 5,00; 5,20; 7,00 m e assim sucessivamente a cada 2 m, até a altura comercial, com diâmetro mínimo de quatro centímetros. Justifica-se a medição do diâmetro na posição 5,20 m em razão do cálculo do Quociente de Forma de Girard Médio e Quociente de Forma de Girard por classe.

Inventário Tradicional

Da base de dados foram retiradas cinquenta árvores distribuídas em cinco classes diamétricas, dez árvores em cada classe (4-7; 7-10; 10-13; 13-16; 16-19 cm) para o ajuste dos modelos volumétricos de simples e dupla entrada (Quadro 1).

QUADRO 1: Modelos volumétricos de simples e dupla entrada, sendo: dap - diâmetro a altura do peito; ht - altura total; β 's - parâmetros a serem estimados; Ln – logaritmo natural.

| Autor | Modelo |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kopezky – Gehrhardt | $V = \beta_0 + \beta_1 \text{dap}^2$ |
| Dissescu – Meyer | $V = \beta_1 \text{dap} + \beta_2 \text{dap}^2$ |
| Berkhout | $V = \beta_0 \text{dap}^{\beta_1}$ |
| Husch | $\text{Ln}V = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln} \text{dap}$ |
| Brenac | $\text{Ln}V = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln} \text{dap} + \beta_2 \frac{1}{\text{dap}}$ |
| Spurr | $V = \beta_0 + \beta_1 \text{dap}^2 \text{ht}$ |
| Schumacher-Hall | $V = \beta_0 \text{dap}^{\beta_1} \text{ht}^{\beta_2}$ |
| Hooner | $V = \frac{\text{dap}^2}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\text{ht}}}$ |
| Ogaya | $V = \text{dap}^2 (\beta_0 + \beta_1 \text{ht})$ |
| Stoate | $V = \beta_0 + \beta_1 \text{dap}^2 + \beta_2 \text{dap}^2 \text{ht} + \beta_3 \text{ht}$ |
| Naslund | $V = \beta_1 \text{dap}^2 + \beta_2 \text{dap}^2 \text{ht} + \beta_3 \text{dap} \text{ht}^2 + \beta_4 \text{ht}^2$ |
| Takata | $V = \frac{\text{dap}^2 \text{ht}}{\beta_0 + \beta_1 \text{dap}}$ |
| Spurr (log) | $\text{Ln}V = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(\text{dap}^2 \text{ht})$ |
| Meyer | $V = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \beta_2 \text{dap}^2 + \beta_3 \text{dap} \text{ht} + \beta_4 \text{dap}^2 \text{ht} + \beta_5 \text{ht}$ |
| Schumacher - Hall (log) | $\text{Ln}V = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln} \text{dap} + \beta_2 \text{Ln} \text{ht}$ |

Fonte: SCOLFORO (1997).

Para a seleção da equação que apresentou melhor desempenho na estimativa do volume, foram avaliados os coeficientes de determinação (R^2), o erro padrão residual (Syx) e a dispersão gráfica dos resíduos. A partir da obtenção da equação volumétrica, os volumes individuais das árvores das parcelas foram estimados.

Relação Hipsométrica

As alturas totais das árvores das três fileiras centrais de cada parcela foram medidas com o hipsômetro Blume-Leiss e ajustadas relações hipsométricas por parcela, as quais foram utilizadas para estimar a altura das demais árvores.

No Quadro 2 estão apresentados os modelos hipsométricos utilizados para estimar a altura das dez parcelas lançadas. Nestes modelos a variável dependente considerada foi a altura total e a variável independente, o DAP e suas variações.

QUADRO 2: Modelos hipsométricos utilizados para estimar a altura, sendo: dap - diâmetro a altura do peito; ht - altura total; β 's - parâmetros a serem estimados; Ln - logaritmo natural.

| Autor | Modelo |
|--------------|---------------------------------------------------------------------|
| Parabólico | $ht = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2$ |
| Stofel | $Lnht = \beta_0 + \beta_1 Lndap$ |
| Curtis | $Lnht = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dap}$ |
| Petterson | $Lnht = \left(\frac{1}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dap}} \right)^3$ |
| Prodan | $ht = \frac{dap^2}{\beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2}$ |

Fonte: SCOLFORO (1997).

Para seleção das equações de melhor desempenho nas estimativas de altura, avaliaram-se, a dispersão gráfica dos resíduos, os coeficientes de determinação (R^2) e o erro padrão residual (S_{yx}).

Método da Árvore Média

Para a aplicação do método da Árvore Média ou Modelo, foi medido o DAP de todas as árvores de cada parcela e calculado o diâmetro médio quadrático (Dg) das árvores da população (SCOLFORO & MELLO, 2006).

Após o cálculo do Dg, foram selecionadas cinco árvores que mais se aproximaram da árvore modelo, ou seja, que possuíam DAP próximo ao Dg calculado em cada uma das dez unidades amostrais (SCOLFORO & MELLO, 2006). As referidas árvores foram cubadas rigorosamente pelo método de Smalian. Após obtenção dos volumes médios da árvore modelo, estes foram extrapolados para a parcela e povoamento.

Método da Árvore Média Estratificada

O método da Árvore Média Estratificada é similar ao método da Árvore Média conforme descrito por SCOLFORO & MELLO (2006), diferindo pelo fato de serem selecionadas, três árvores cujo volume médio equivale ao volume da árvore modelo em cada classe diamétrica. O volume da classe foi encontrado multiplicando-se o volume da árvore média encontrada para esta, pela frequência de cada classe. Assim, foram somados os volumes de cada unidade amostral e o resultado extrapolado para o povoamento.

Fator de Forma Médio

Da base de dados, foram selecionadas aleatoriamente 50 árvores distribuídas em cinco classes diamétricas. A partir da razão entre o volume real obtido na Cubagem Rigorosa pelo volume cilíndrico com diâmetro na altura do peito (SCOLFORO & THIERSCH, 2004), foi calculado o fator de forma individual das árvores. Após a obtenção dos fatores de forma individuais, obteve-se o fator de

forma médio do povoamento a partir da média aritmética dos fatores de forma individuais, o qual foi multiplicado pelo volume cilíndrico de todas as árvores amostradas e extrapoladas para a população.

Fator de Forma por Classe Diamétrica

O procedimento de obtenção do fator de forma por classe diamétrica foi semelhante ao descrito no item anterior, diferindo no fato de que os fatores de forma médios foram calculados para cada classe diamétrica, e sua extrapolação também se deu com base nas classes diamétricas (SCOLFORO & THIERSCH, 2004).

Quociente de Forma de Girard Médio

Para a obtenção do quociente de forma de Girard médio, foi utilizada a mesma base de dados relativa ao fator de forma médio e fator de forma por classe diamétrica. O quociente de forma de Girard médio se deu por meio da razão entre o diâmetro à altura de 5,2 m e o DAP (SCOLFORO & THIERSCH, 2004). A seguir, multiplicou-se o referido quociente pelo volume cilíndrico de todas as árvores amostradas e extrapoladas para a população.

Quociente de Forma de Girard por Classe Diamétrica

O procedimento de obtenção do fator de forma por classe diamétrica foi semelhante ao descrito no item anterior, diferindo em que os quocientes de forma médios de Girard foram calculados para cada classe diamétrica, e sua extrapolação também se deu com base nas classes diamétricas (SCOLFORO & THIERSCH, 2004).

Método Geométrico Original

Foram utilizados os diâmetros medidos a 0,3 m (toco); 1,3 m (DAP), altura total (ht) e a altura relativa (hr), Posteriormente foram calculados os Coeficientes Angulares das Retas (CAR) para cada região da árvore a partir das informações de DAP, ht, dhr e hr. A seguir foi possível estimar os diâmetros a qualquer altura. Estimados os diâmetros às várias alturas da árvore, o volume foi calculado utilizando-se a fórmula de Smalian (ANDRADE, 2001).

Método Geométrico Modificado

Foram mantidas as medições dos diâmetros e altura nas mesmas posições do método anterior, ou seja, nas posições 0,3 m (toco); 1,3 m (DAP); altura total (ht) e altura relativa (hr). No entanto, além desta altura relativa, foram calculadas três novas alturas relativas hr_1 , hr_2 e hr_3 . Conforme o conceito do método original, os diâmetros foram calculados em diferentes alturas e o volume foi calculado utilizando a fórmula de Smalian (ANDRADE, 2001).

Teste de Médias

Para verificar a precisão das estimativas de volume por unidade de área, obtidas pelos métodos testados, comparativamente com o volume obtido pela

Cubagem Rigorosa, foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, com 10 tratamentos e 10 repetições. Verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, procedeu-se o teste Tukey com nível de significância de 5%. Estes testes foram realizados utilizando o software SISVAR[®], desenvolvido por FERREIRA (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os métodos de obtenção de volume que apresentaram resultados mais próximos à Cubagem Rigorosa, foram aqueles com base na medição apenas do diâmetro, o Método da Árvore Média Estratificada e Método da Árvore Média (Tabela 1). Miguel (2006) testando o método da árvore média, método da árvore média estratificada e inventário tradicional em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. obteve boas estimativas de volume, não encontrando diferenças significativas entre os mesmos.

TABELA 1. Resultados da análise estatística dos métodos testados em povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Vitória da Conquista/BA.

| Método | Média | Maior Volume | Menor Volume | Volume/ha | Erro (%) | CV (%) |
|-----------------------------------------|---------------------|--------------|--------------|-----------|----------|--------|
| Cubagem Rigorosa | 3,7568 ^a | 4,5203 | 2,9007 | 104,3556 | - | 33,09 |
| Árvore Média | 3,7266 ^a | 4,3188 | 3,0068 | 103,5167 | 0,80 | 12,83 |
| Árvore Média Estratificada | 3,7650 ^a | 4,4621 | 2,8394 | 104,5833 | -0,22 | 15,45 |
| Inventário Tradicional (dupla entrada) | 3,8707 ^a | 4,3875 | 3,2889 | 107,5194 | -3,03 | 9,79 |
| Fator de Forma Médio | 4,4194 ^a | 5,0299 | 3,6630 | 122,7611 | -17,64 | 11,04 |
| Fator de Forma por classe | 3,9401 ^a | 4,4926 | 3,2633 | 109,4472 | -4,88 | 10,66 |
| Método Geométrico Original | 3,9497 ^a | 4,5764 | 3,2879 | 109,7139 | -5,14 | 11,25 |
| Método Geométrico Modificado | 4,0186 ^a | 4,6522 | 3,3531 | 111,6278 | -6,97 | 11,16 |
| Quociente de Forma de Girard Médio | 6,4562 ^b | 7,3481 | 5,3512 | 179,3389 | -71,86 | 11,04 |
| Quociente de Forma de Girard por classe | 6,4693 ^b | 7,3783 | 5,3769 | 179,7028 | -72,20 | 11,04 |

^{a,b} Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Todos os métodos testados superestimaram o volume, exceto o Método da Árvore Média que o subestimou. De acordo com a distribuição em classes diamétricas (Figura 1), nota-se que o povoamento apresentou assimetria à esquerda, conseqüentemente as árvores pertencentes às classes de maior diâmetro não tiveram seu volume retratado pela árvore média, já que a escolha da árvore média é dada com base no Dg, isto é, o volume da árvore modelo (Dg = 12,31 cm) ficou abaixo do volume das classes que apresentaram os maiores diâmetros. Logo, como o método da árvore média seleciona apenas uma árvore modelo para todo o povoamento, esta pode não ter sido a árvore ideal para a representação do volume. Presume-se, portanto que o método da árvore média tende a ser mais preciso em

povoamentos florestais que apresentam simetria na distribuição diamétrica, devido a melhor representatividade da árvore média para o povoamento.

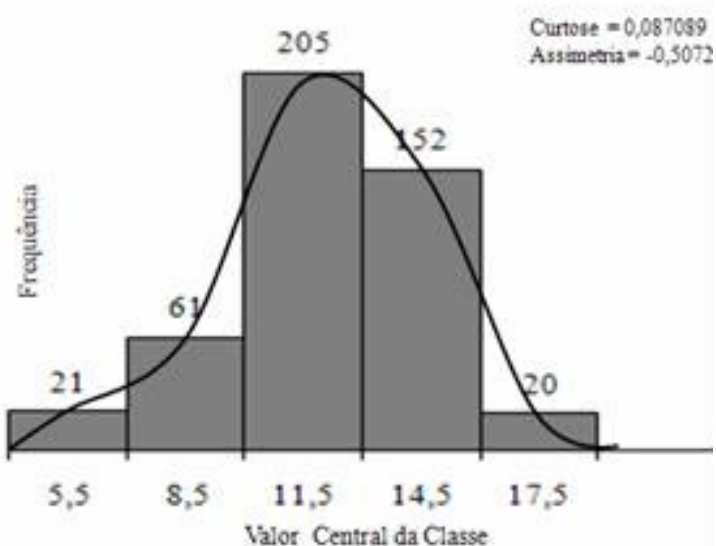


FIGURA 1: Distribuição do volume em classes diamétricas em povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Vitória da Conquista/BA.

Diferentemente, no método da Árvore Média Estratificada, as árvores médias da população são calculadas com base no Dg obtido para cada classe diamétrica (SCOLFORO & THIERSCH, 2004).

Quanto ao inventário tradicional, o modelo volumétrico que apresentou o melhor desempenho foi o de Schumacher e Hall (logarítmica). A dispersão gráfica dos resíduos não apresentou tendenciosidade, $R^2 = 95,64\%$ e $Syx = 0,0151 \text{ m}^3$. CABACINHA (2003) trabalhando com clone do híbrido de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* em três sítios e mesma idade encontrou resultados semelhantes, apresentando excelentes estatísticas (coeficientes de determinação superiores a 99%) e a dispersão gráfica dos resíduos sem nenhuma tendência.

Para seleção das equações de melhor desempenho nas estimativas de altura, foram avaliados a dispersão gráfica dos resíduos, os coeficientes de determinação (R^2) e o erro padrão residual (Syx). A Tabela 2 apresenta as equações selecionadas para cada parcela e suas respectivas estatísticas.

Os métodos que apresentaram diferenças estatísticas significativas foram “Quociente de Forma de Girard geral” e “Quociente de Forma de Girard por classe diamétrica”, os quais superestimaram o volume. O “Fator de Forma Médio” cujo valor encontrado foi (0,5077), embora não tenha apresentado diferença significativa, sua utilização não seria recomendada, uma vez que o erro (-17,64%) está acima do máximo admitido para floresta plantada (10%). SCOLFORO & THIERSCH (2004) afirmam que como o fator de forma é influenciado pela espécie, sítio, espaçamento, desbaste e idade, deve-se ter muito cuidado ao se utilizar um único número médio para representar todo o povoamento.

TABELA 2. Equações escolhidas para cada parcela, sendo: dap - diâmetro a altura do peito; ht - altura total; β 's - parâmetros a serem estimados; Ln - logaritmo natural.

| Parcela | Autor | Equação | R ² (%) | Syx (m) |
|---------|------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------|---------|
| 01 | Parabólico | $H = 17,42198501 - 0,668402897Dap + 0,039872435Dap^2$ | 57,26 | 0,6805 |
| 02 | Parabólico | $H = -6,413465416 + 3,069416222Dap - 0,105878898Dap^2$ | 77,73 | 1,0337 |
| 03 | Prodan | $H = Dap^2 / (19,1435513 - 2,685142557Dap + 0,153019388Dap^2)$ | 78,35 | 0,9085 |
| 04 | Parabólico | $H = -11,02672874 + 3,855113423Dap - 0,13730755Dap^2$ | 48,92 | 0,6663 |
| 05 | Parabólico | $H = -16,10132345 + 4,605982085Dap - 0,161499298Dap^2$ | 62,74 | 1,5008 |
| 06 | Prodan | $H = Dap^2 / (11,1165086 - 1,768836897Dap + 0,128041539Dap^2)$ | 86,65 | 1,0466 |
| 07 | Parabólico | $H = -10,41690292 + 3,739255297Dap - 0,123273076Dap^2$ | 65,23 | 0,9428 |
| 08 | Parabólico | $H = -10,98023669 + 3,301801943Dap - 0,093573115Dap^2$ | 76,57 | 0,9168 |
| 09 | Prodan | $H = Dap^2 / (4,089493514 - 0,460786081Dap + 0,072473897Dap^2)$ | 63,46 | 2,1322 |
| 10 | Parabólico | $H = 3,11577144 + 1,787419691Dap - 0,059908671Dap^2$ | 76,31 | 0,5579 |

Com relação ao “Quociente de forma médio” e “Quociente de Forma por classe”, ressalta-se, no entanto que dentre as árvores selecionadas para compor a base de dados, na classe de menor diâmetro (4 – 7 cm) foram encontradas apenas seis árvores e não dez como nas outras classes, em função de nas menores árvores não haver altura suficiente para o cálculo do diâmetro na altura de Girard (5,20 m). Este fato pode ter contribuído para as diferenças estatísticas observadas. Outra possibilidade para explicar o comportamento de ambos os Quocientes de Forma, é que como a espécie é altamente susceptível às variações acima descritas por SCOLFORO & THIERSCH (2004), os diâmetros medidos na altura 5,20 m e na altura do DAP para o cálculo do Quociente de Forma sofrem muitas variações que comprometem as estimativas de volume.

Quanto ao comportamento do Método Geométrico Original, ressalta-se que os diâmetros na altura 0,3 m (toco) e altura relativa (hr), foram estimados por meio de uma equação *taper* ajustada. O modelo utilizado foi o de OMEROD (1973) modificado por GUIMARÃES & LEITE (1992). Este fato pode ter influenciado no comportamento do método, pois foram retiradas da base de dados, aleatoriamente, 50 árvores, distribuídas em cinco classes diamétricas, utilizando-se para o ajuste a medida DAP e da altura total (ht), entretanto a última também foi estimada quando ajustadas as relações hipsométricas em cada parcela. Portanto, o elevado número de estimativas utilizadas na determinação do volume pode ter resultado em um erro acumulado, influenciando no comportamento do método geométrico.

A equação *taper* ajustada foi a seguinte:

$$d = dap * [\exp(1 - \exp(1,3 - h))]^{-0,0919064} * \left[\frac{(ht - h)}{(ht - 1,3)} \right]^{0,576557} \quad R^2 = 98,36\%; \text{ Syx} = 0,3216 \text{ cm}$$

em que:

d - diâmetro estimado na posição hi (0,3 ou hr);

h - alturas de medições dos diâmetros (0,3; 1,3; $\frac{ht-2}{2}$ e ht)

ht - altura total;

dap - diâmetro a altura do peito.

A partir da obtenção da equação *taper*, os diâmetros foram estimados nas mesmas alturas definidas para a cubagem rigorosa e o volume obtido a partir da fórmula de Smalian.

Quanto ao Método Geométrico Modificado, o mesmo também teve o diâmetro a 0,3 m (toco) e a altura total (ht) estimados pela equação de OMEROD (1973) modificado por GUIMARÃES & LEITE (1992), assim como os valores das demais alturas relativas (hr_1 , hr_2 e hr_3) também foram estimados. ANDRADE *et al.* (2006) ao utilizarem Método Geométrico Modificado para caracterizar o perfil do tronco de árvores de eucalipto, observaram que em média, há perdas de precisão na estimativa do diâmetro à medida que altura aumenta, sobretudo quando são maiores que hr_1 .

CONCLUSÕES

O Método da Árvore Média Estratificada apresentou melhor desempenho em relação aos demais métodos testados, pois as secções, distribuídas em classes diamétricas são retratadas pelas árvores médias calculadas para cada estrato.

O Método da Árvore Média apresentou bom desempenho apesar de subestimar o volume.

O Fator de Forma Médio deve ser utilizado ponderando as características do povoamento, como espécie, sítio, espaçamento, desbaste e idade, pois a inobservância das referidas características pode resultar em estimativas imprecisas do volume.

O Fator de Forma por classe diamétrica apresentou bons resultados se comparado com os demais.

Os Métodos da Altura Relativa, Método Geométrico Original e Método Geométrico Modificado, podem ter apresentado perda de precisão em razão do acúmulo de estimativas das variáveis para o cálculo dos coeficientes angulares das retas.

O Quociente de Forma Médio e Quociente de Forma por classe mostraram-se incapazes de acompanhar as variações diamétricas ao longo do fuste, portanto ambos foram descartados à predição de volume por unidade de área.

Os métodos testados no desenvolvimento deste estudo apresentaram tais resultados em face de uma dada condição edafoclimática, à condução do povoamento em regime de alto fuste, material genético originado de sementes e sob tratos silviculturais adequados à situação local.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, V. C. L. de, LEITE, H.G. Uma nova metodologia para medir parcelas em inventários florestais. In: VI Seminário de Iniciação Científica da UFOP, 1998a, **Anais**. Ouro Preto: UFOP, 1998b, p.73-74.

ANDRADE, V. C. L. de, LEITE, H. G. **Geometria analítica: novas metodologias de mensurar o volume das árvores**. Viçosa: UFV, 1998c. 35p. Iniciação Científica

sem Bolsa de Pesquisa (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1998b. (manuscrito com direito autoral adquirido).

ANDRADE, V. C. L. **Um método para descrever o perfil do tronco em árvores de eucalipto utilizando geometria analítica.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.

ANDRADE, V. C. L.; CALEGARIO, A. N.; SCOLFORO, J. R. S. Análise de algumas alternativas para obter o coeficiente angular da reta no método da altura relativa. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 303-317, 2006.

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa.** Lavras, 2003. 166 p. (Dissertação de Mestrado - UFLA).

FERREIRA, C. A.; MELLO, H. do A.; KAJYIA, A. Estimativa do volume de madeira aproveitável para celulose em povoamentos de *Eucalyptus* spp: determinação de equações para o cálculo do volume de povoamentos de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, n.14, p.29-50, 1977

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: **Reunião anual da região brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**, 45, 2000, São Carlos, SP. Programa e resumos... São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H.G. Um novo modelo para descrever o perfil do tronco. **Revista Árvore**, Viçosa/MG, v.16, n.2, p.170-180, maio/ago. 1992.

MIGUEL, E. P. **Avaliação de dois procedimentos para inventariar pequenos povoamentos florestais baseados somente na medição de diâmetros.** 2006. 48 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Curso de graduação em Engenharia Florestal, Faculdades Integradas de Mineiros, Mineiros.

NOVAES, A. B. de ; LONGUINHOS, M. A. A. ; RODRIGUES, J. ; SANTOS, I. F. dos ; SILVA, J. C. G. da. Caracterização e demanda florestal da Região Sudoeste da Bahia. In: SANTOS, A. F. dos; NOVAES, A. B. de; SANTOS, I. F. dos; LONGUINHOS, M. A. A.. (Org.). Memórias do II Simpósio sobre Reflorestamento na Região Sudoeste da Bahia. 1ª ed. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2008, v. 1, p. 25-43.

OLIVEIRA, M. L. R. de; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L. de; LEITE, H. G. L. Equações de volume de povoamento para fragmentos florestais naturais do município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista. Árvore**, Viçosa/MG, v.29, n.2, p.213-225, 2005

OLIVEIRA, M. L. R.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; CAMPOS, J. C. C.; SOARES, C. P. B.; SANTANA, R. C. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. **Revista. Árvore**, Viçosa/MG, vol.33, n.1.. Jan./Feb. 2009

PÉLLICO NETTO, S. Equivalência volumétrica: uma nova metodologia para estimativa do volume de árvores. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 2, n.1, p. 17-30, jan./mar. 2004.

SCOLFORO, J. R. S., MELLO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 561 p.

SCOLFORO, J. R. S. THIERSCH, C. R. **Biometria florestal: medição, volumetria e gravimetria**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 285 p

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal 2: técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 292 p.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: UFV, 2006. 276 p.

THIERSCH, C. R.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R.; DEHON, G. **Acurácia dos métodos para estimativa do volume comercial de clones de *Eucalyptus sp.*** Cerne, Lavras, v. 12, n. 2, p. 167-181, abr./jun. 2006.