

VOLUMETRIA DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake PELO MÉTODO GEOMÉTRICO NO PLANALTO DE CONQUISTA, BAHIA¹

RAFAEL COSTA DE ALMEIDA^{2*}, CHRISTIAN DIAS CABACINHA³,
TIAGO BORGES ROCHA⁴, ALESSANDRO DE PAULA⁵

RESUMO – O objetivo deste estudo foi avaliar a precisão do Método Geométrico Original e do Método Geométrico Modificado, na estimativa do volume individual de 100 árvores da espécie *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, oriundas de um plantio com alta variabilidade de forma, com cinco anos de idade, localizado no município de Vitória da Conquista – BA. Para tanto, as árvores foram cubadas rigorosamente e separadas em cinco classes diamétricas com amplitude de 3 cm, tendo os seus volumes reais comparados com os volumes estimados pelos respectivos métodos em uma análise de variância em esquema fatorial com dois fatores (métodos e classes diamétricas). Os resultados mostraram que, em geral, os métodos geram boas estimativas de volume, no entanto, foi observada perda de precisão nas estimativas, relacionadas à maior conicidade das árvores pertencentes às maiores classes diamétricas (DAP > 12 cm), com fatores de forma inferiores a 0,46, bem como, à presença de deformações no fuste.

Palavras-chaves: Inventário Florestal. Forma da Árvore. Taper.

VOLUMETRY OF *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake FOR THE GEOMETRIC METHOD IN PLANALTO DA CONQUISTA, BRAZIL

ABSTRACT - The aim of this study was to evaluate the precision of the Original Geometric Method and Modified Geometric Method, to estimate the individual volume of 100 trees of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, coming from a plantation with high variability of shape, with five years of age, located in Vitória da Conquista, Bahia, Brazil. For this, the trees were rigorously cubed and separated into five diameter classes with an amplitude of 3 cm, and their actual volumes were compared with volumes estimated by the respective methods, in an analysis of variance in factorial with two factors (diameter classes and methods). The results showed that, in general, the methods produced good estimates of volume, however, there was loss of precision in estimates related to a greater taper of the trees belonging to the largest diameter classes (DBH > 12 cm), with shape factors smaller than 0.46, as well as the presence of deformations on the stem.

Keywords: Forest Inventory. Tree Form. Taper.

* Autor para correspondência.

Recebido para publicação em 25/05/2010; aceito em 29/08/2010.

Trabalho de monografia de conclusão do curso de graduação em Engenharia Florestal do primeiro autor.

²Engenheiro Florestal Autônomo, 45.083-900, Vitória da Conquista - BA; rca86@bol.com.br

³Instituto de Ciências Agrárias, UFMG, 39.404-006, Montes Claros - MG; ccabacinha@yahoo.com.br

⁴Engenheiro Florestal Autônomo, 45.083-900, Vitória da Conquista - BA; thyaggw@hotmail.com

⁵Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, UESB, 45.083-900, Vitória da Conquista - BA; depaula.alessandro@gmail.com.

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande competitividade no mercado de produtos florestais em razão da grande disponibilidade de terras apropriadas para reflorestamentos, características edafoclimáticas favoráveis ao cultivo de espécies florestais, idade de corte menor que nos países de clima temperado ou frio, tecnologia adequada e infra-estrutura desenvolvida (SILVA et al., 2005). Este setor apresenta grande importância para o desenvolvimento econômico do país, fato este, que justifica demanda do conhecimento adequado do estoque madeireiro. Tal conhecimento é fundamental para que um planejamento de curto, médio e longo prazo possa ser realizado e auxiliado na gestão destes recursos.

Os métodos tradicionais adotados para estimar o volume de madeira nos inventários florestais envolvem, sobretudo, a utilização de equações volumétricas. Para obtê-las são utilizados dados de cubagem de árvores abatidas ou de árvores cubadas ainda em pé (OLIVEIRA et al., 2009).

A etapa da cubagem, além de ser trabalhosa, foge à rotina das medições de diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e das alturas das árvores que compõem a parcela do inventário. Assim, o alto custo dessa atividade aliado ao tempo, deslocamento das equipes e porte das árvores, implica que a cubagem seja, às vezes, negligenciada na empresa florestal, impactando negativamente as predições volumétricas.

Na tentativa de reduzir estas dificuldades, Andrade (2001) desenvolveu o método da altura relativa, também conhecido como método geométrico, que tem como filosofia de trabalho, promover rapidez e redução de custos dos inventários florestais. O método é dividido em Método Geométrico Original e o Método Geométrico Modificado, em razão de algumas diferenças na coleta e processamento de dados utilizados para as estimativas de volume individual das árvores. No entanto, em ambos os métodos, conceitos de geometria analítica são aplicados para gerar o perfil do tronco e por meio de modificações algébricas realizadas no coeficiente angular da reta, formada em intervalos pré-definidos na árvore em pé, são geradas expressões de *taper*, sem a necessidade deubar a árvore rigorosamente. O método geométrico possui também a vantagem de adotar a realização de medições de diâmetros sem a necessidade de abate da árvore, utilizando-se, por exemplo, um Relatório de Bitterlich (LEITE; ANDRADE, 2004; SCOLFORO; THIERSCH, 2004).

Além dessa vantagem, Leite e Andrade (2002) mostraram que as medições prescritas podem ser efetivadas em apenas algumas árvores de cada parcela do inventário, que seriam as mesmas árvores amostradas para compor a relação hipsométrica. Essa ação propicia caracterizar o *taper* das árvores de cada parcela e em cada época de medição, fato equivalente ao de se estar realizando a cubagem com o abate de árvores vinculado a cada uma das parcelas.

Tendo em vista escassez de estudos de biométrica florestal na região do planalto de Vitória da Conquista, a avaliação destes métodos pode gerar subsídios para uma maior otimização de custos dos inventários, além de possibilitar maior eficiência na obtenção de informações da cultura do eucalipto na região.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a precisão do Método Geométrico Original e do Método Geométrico Modificado na estimativa de volume individual de árvores da espécie *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake quando comparado ao volume obtido pela cubagem rigorosa.

MATERIAL E MÉTODOS

Características da área de estudo

O estudo foi realizado num povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake de 17,58 ha com cinco anos de idade, plantado num espaçamento de 3,0 x 2,5. O povoamento está localizado no Planalto de Conquista, município de Vitória da Conquista – BA, apresentando altitude de 838 m e coordenadas geográficas 15°18'55,588" S e 41°05'13,886" W, Datum horizontal SAD69 Brasil.

O Planalto de Conquista localiza-se na região ecogeográfica da Caatinga, no semi-árido brasileiro, apresenta uma vegetação típica denominada Floresta Estacional Semidecidual Montana, também conhecida como “Mata de Cipó” a qual vêm sofrendo o mesmo modelo de exploração do norte de Minas Gerais, onde a vegetação nativa vem sendo devastada com prática de agricultura itinerante para dar lugar à prática da agropecuária e extração de madeira para carvão, modificando a estrutura da vegetação e provocando impactos ambientais de grande magnitude (SANTOS et al., 2008; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009).

Segundo Novaes et al. (2008), o clima local é semi-árido e considerado ameno em função da altitude que apresenta uma média de 800 m. A topografia é considerada de plana a levemente ondulada. Quanto à 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 e processamento dos dados

Foram lançadas, aleatoriamente 10 parcelas circulares de 360 m², que proporcionaram uma suficiência amostral com erro inferior a 10%. Nessas parcelas, todas 459 árvores existentes foram abatidas e cubadas rigorosamente pelo método de Smalian. As medições ao longo do fuste foram realizadas com uma suta de 80 cm, e foram tomados os diâmetros nas posições: 0,10; 0,30; 0,50; 0,70; 0,90; 1,20; 1,30;

1,50; 1,80; 2,10; 2,40; 2,70 e 3,00 metros, seguindo sucessivamente com intervalos de dois em dois metros, até a altura total, de forma semelhante à cubagem realizada por Cabacinha e Mello (2003) em árvores de *Eucalyptus saligna* Smith.

Para estimar os volumes individuais das árvores pelo Método Geométrico Original (MGO), desenvolvido por Andrade (2001), foi medida a altura total (ht) de cada árvore, bem como os diâmetros do fuste nas alturas 0,1 m ($h_{0,1}$), e a 1,3 m do solo ($h_{1,3}$). Foi calculada a altura relativa (hr) de cada árvore, a partir da seguinte expressão:

$$hr = \frac{(ht - 2)}{2} \quad (1)$$

Utilizando os dados citados anteriormente, foram obtidos os Coeficientes Angulares das Retas (CAR), para três diferentes intervalos do fuste (Intervalo I = 0,1 m a 1,30 m; Intervalo II = 1,30 m a hr; Intervalo III = hr a ht), aplicando-se as expressões a seguir:

$$CAR_{Ij} = \frac{1,3 - h_{0,1}}{\left(\frac{DAP_j - d_{0,1}}{2}\right)} = CAR \left(\frac{1,2}{\left(\frac{DAP_j - d_{0,1}}{2}\right)}\right) \quad (2)$$

$$CAR_{IIj} = \frac{1,3 - hr_j}{\left(\frac{DAP_j - d_{hr_j}}{2}\right)} \quad (3)$$

$$CAR_{IIIj} = \frac{hr_j - ht_j}{\frac{d_{hr_j}}{2}} \quad (4)$$

Em que:

CAR_{ij} = Coeficiente angular da reta definida pelo i-ésimo intervalo na j-ésima árvore amostra, em que i = I, II e III;

$d_{0,1}$, 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.

Os coeficientes angulares das retas geraram as equações taper 5, 6 e 7, que possibilitaram estimar os diâmetros nos três intervalos distintos do fuste:

$$d_{(0,1 \leq hij \leq 1,30)} = \frac{2h_{ij} - 2,6}{CAR_{Ij}} + DAP_j \quad (5)$$

$$d_{(1,30 < hij \leq hr)} = \frac{2h_{ij} - 2,6}{CAR_{IIj}} + DAP_j \quad (6)$$

$$d_{(hr < hij \leq ht)} = \frac{h_{ij} - 1,3}{CAR_{IIj}} + \frac{h_{ij} - ht_j}{CAR_{IIIj}} + \frac{DAP_j}{2} \quad (7)$$

Em que:

$d_{(0,1 \leq hij \leq 1,30)}$ = Diâmetro na hi-ésima altura desejada entre 0,1 m e 1,30 m na j-ésima árvore amostra.

$d_{(1,30 \leq hij \leq hr)}$ = Diâmetro na hi-ésima altura desejada entre 1,30 m e hr na j-ésima árvore amostra.

$d_{(hr \leq hij \leq ht)}$ = Diâmetro na hi-ésima altura desejada entre hr e ht na j-ésima árvore amostra.

Após estimar os diâmetros às várias alturas das árvores pelo Método Geométrico Original (MGO), os perfis das mesmas foram reconstituídos e os volumes foram calculados utilizando-se a fórmula de Smalian (LEITE; ANDRADE, 2004).

Para estimar os volumes individuais das árvores pelo Método Geométrico Modificado (MGM), também desenvolvido por Andrade (2001), além das medidas utilizadas no MGO, foram coletadas também, em cada árvore, as medidas de diâmetro nas seguintes posições de altura:

$$hr_1 = \frac{(ht - 1,7)}{1,7} \quad (8)$$

$$hr_2 = \frac{(ht - 1,4)}{1,4} \quad (9)$$

$$hr_3 = \frac{(ht - 1,1)}{1,1} \quad (10)$$

Seguindo o conceito do método original e adotando as deduções das novas expressões propostas pelo autor, as estimativas dos diâmetros a qualquer altura ocorreram em quatro intervalos (Intervalo I = 0,1 m a 1,30 m; Intervalo II = 1,30 m a hr₁; Intervalo III = hr₁ a hr₃; Intervalo IV = hr₃ a ht), sendo realizadas a partir das seguintes expressões:

$$d_{(0,1 \leq h_i \leq 1,3)} = \frac{2h_i - 2,6}{CAR_{I1}} + DAP_j \quad (11)$$

$$d_{(1,3 < h_i \leq hr_1)} = \frac{2h_i - 2,6}{CAR_{II}} + DAP_j \quad (12)$$

$$d_{(hr_1 < h_i \leq hr_3)} = \left(\frac{h_i - hr_1}{hr_1 - hr_2}\right) * \left(\frac{2hr_1 - hr_2 - 1,3}{2CAR_{II}} + \frac{ht - hr_2}{2CAR_{III}} + \frac{d_{1,3}}{4}\right) + \frac{h_i + hr_1 - 2,6}{CAR_{II}} + DAP_j \quad (10)$$

$$d_{0,95 \leq h \leq 30} = \left(\frac{h_i - h_j}{h_g - h_t} \right) * \left[\left(\frac{h_g - h_r}{h_r - h_z} \right) * \left(\frac{2h_r - h_z - 13}{2CAR_g} + \frac{h_j - h_z}{2CAR_m} + \frac{dap}{4} \right) + \frac{h_g + h_r - 26}{CAR_g} + DAP \right] \quad (11)$$

Após estimar os diâmetros às várias alturas das árvores pelo MGM, os perfis das mesmas foram reconstituídos e os volumes foram calculados utilizando-se a fórmula de Smalian (LEITE; ANDRADE, 2004).

Fator de forma

Com a finalidade de analisar a influência da forma das árvores no comportamento dos diferentes métodos de estimativa de volume estudados foram calculados para todos os indivíduos de cada classe diamétrica, os fatores de forma. Os fatores de forma foram obtidos a partir da razão entre o volume da árvore cubada e o volume do cilindro com diâmetro igual ao DAP da árvore em questão, conforme Scolforo e Thiersch (2004) e Soares et al. (2006).

Crítérios para a avaliação da precisão dos métodos

Com os dados de DAP, as 459 árvores existentes nas 10 parcelas foram separadas em cinco classes diamétricas. Utilizou-se uma amplitude de classe de 3,0 cm, conforme recomendação de Scolforo e Thiersch (2004). Para a comparação dos resultados obtidos pelos métodos entre as diferentes classes, o número de árvores de cada classe diamétrica foi balanceado, resultando em um número igual a 20 árvores em cada classe, selecionadas aleatoriamente (Tabela 2). Com o balanceamento, o número total de indivíduos utilizados para a avaliação da precisão dos métodos foi reduzido para 100 árvores.

Para cada um dos métodos analisados (MGO e MGM), foi realizada uma análise de regressão, que permitiu avaliar a relação entre o volume obtido pela cubagem rigorosa e pelos métodos avaliados. Para tanto, ajustou-se o modelo linear múltiplo

$$V_i = \beta_0 + \beta_1 \hat{V}_i + \beta_2 \hat{V}_i^2 \pm \varepsilon$$

em que o volume da cubagem rigorosa (V_i) foi a variável dependente e

o volume para cada um dos métodos (\hat{V}_i) foi a variável independente da equação, conforme realizada por Cabacinha (2003).

A avaliação das estimativas realizadas pelos métodos se deu a partir da análise das seguintes medidas de precisão: coeficiente de determinação (R^2) em percentagem; o erro padrão residual (Syx), na escala original da variável dependente e em percentagem; dispersão gráfica dos resíduos das equações de regressão ajustadas e pelo teste de significância dos coeficientes das equações de regressão ajustadas.

Para verificar a precisão das estimativas de

volume obtidas pelo MGO e MGM comparativamente com o volume obtido pela Cubagem Rigorosa em cada classe diamétrica, foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, os fatores estudados foram os métodos (três níveis) e as classes diamétricas (cinco níveis). Quando a interação “método x classes diamétricas” foi significativa ao nível de 95% de probabilidade de acerto, procedeu-se o desdobramento da interação, aplicando-se o teste Tukey para as médias. As análises estatísticas foram processadas com o uso do software SISVAR, desenvolvido por Ferreira (2000).

Com o intuito de comparar o volume individual de cada árvore, gerado pelo MGO e MGM com a Cubagem Rigorosa, foram selecionadas as árvores que apresentaram os melhores e os piores resultados de estimativa de volume individual em cada classe diamétrica. Posteriormente, os perfis de cada fuste das referidas árvores foram reconstituídos pelos dois métodos e pela Cubagem Rigorosa e plotados em gráficos, permitindo assim, a observação do comportamento do afilamento do tronco pelos métodos estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações de regressão ajustadas usando como variável independente o MGO e MGM apresentaram boas medidas de precisão. Na análise de regressão para o MGO verificou-se um $R^2 = 99,55\%$; $Syx = 0,003725 \text{ m}^3$ (4,76%), para o MGM um $R^2 = 99,51\%$; $Syx = 0,003882 \text{ m}^3$ (4,96%). Observou-se, que os métodos apresentaram resultados semelhantes, apesar dos resultados do MGO serem ligeiramente superiores que aos do MGM. Na Tabela 1, pode-se observar as estatísticas da regressão para cada parâmetro ajustado.

Analisando o teste de significância para os parâmetros β_0 , β_1 , e β_2 , observou-se que o parâmetro β_0 , para as duas equações foi não significativo, mas optou-se por manter este parâmetro no modelo, pela importância da equação ajustada ter o “zero” como intercepto. O parâmetro β_1 , para as duas equações foi altamente significativo e o parâmetro β_2 , para a equação que estima o volume pelo MGO foi não significativo e para a equação que estima o volume pelo MGM foi significativo para o nível de significância de 5%. Embora o parâmetro β_2 , para a equação que estima o volume pelo MGO tenha sido não significativo, optou-se por manter o parâmetro na equação pois a dispersão dos dados mostra um comportamento polinomial.

Verificou-se que os volumes obtidos pelos métodos estudados possuem uma forte relação com o volume obtido pela cubagem rigorosa, isto é, os métodos explicam grande parte das variações de volume da cubagem rigorosa, indicando sua boa capacidade de estimativa.

Tabela 1. Estatísticas dos parâmetros ajustados na análise de regressão.

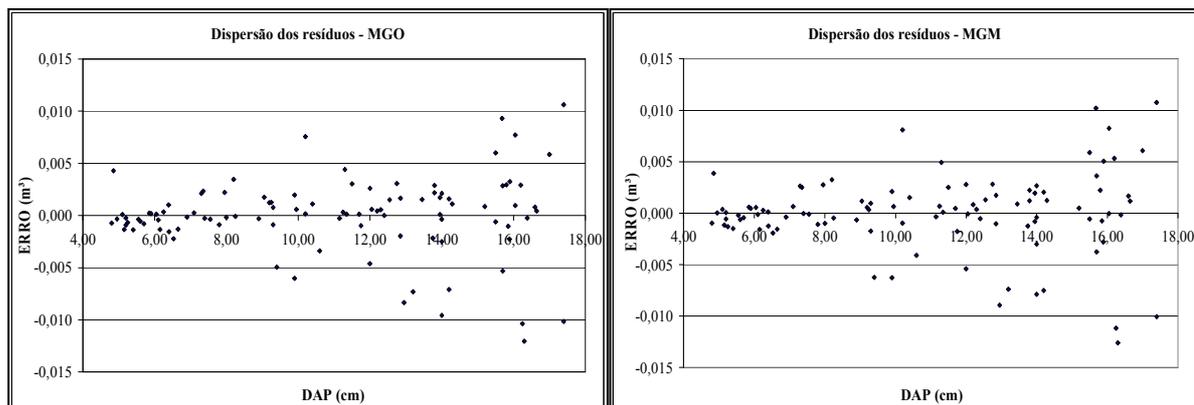
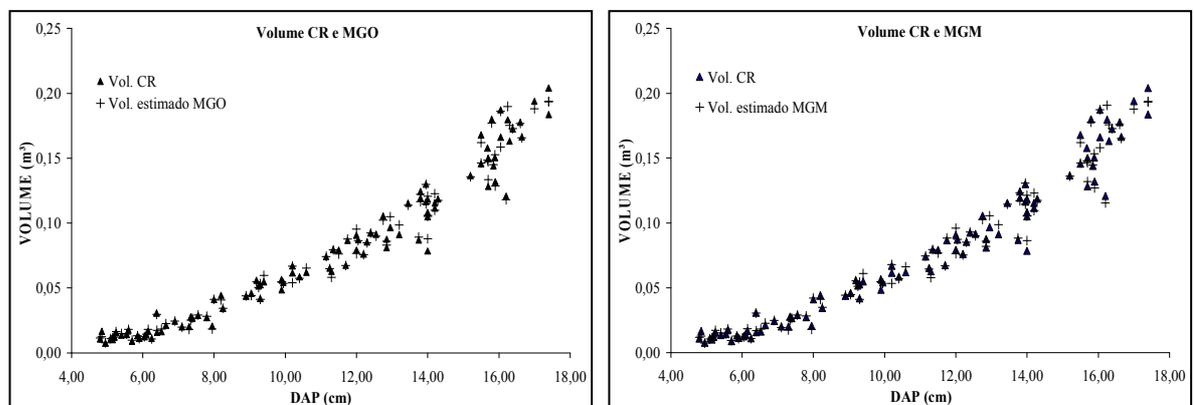
Método	Coefficientes	Erro padrão	Estatística t	Valor-p
MGO	β_0	0,0009	- 0,01	0,9898 ^{ns}
	β_1	0,0239	41,99	0,0000 ^{***}
	β_2	0,1214	- 1,62	0,1086 ^{ns}
MGM	β_0	0,0010	-0,32	0,7531 ^{ns}
	β_1	0,0244	41,00	0,0000 ^{***}
	β_2	0,1222	-2,10	0,0381 [*]

^{ns} = não significativo; * $p < 0,05$ = significativo; *** $p < 0,01$ = altamente significativo.

Cabacinha (2003) encontrou resultados semelhantes na estimativa de volume por parcela em plantios clonais do híbrido de *E. grandis* e *E. urophylla*, resultando em desvios variando entre 2,67 e 2,69% e coeficientes de determinação (R^2) de 92,99 e 92,91%, respectivamente, para o MGO e MGM com os CAR estimados, para ambos os métodos. Thiersch et al. (2006) relataram que o método geométrico foi preciso e exato para clones do mesmo híbrido de eucalipto, quando o diâmetro foi mensurado a 0,1 m,

1,3 m e na altura relativa (hr).

Quanto à dispersão gráfica dos resíduos, o comportamento dos métodos também foi semelhante. Além de que, foi observado para ambos, uma perda de precisão da equação de regressão nas estimativas de volume para as árvores de maiores diâmetros, onde se observa uma maior dispersão dos dados nas árvores de DAP acima de 12 cm, que apresentam erros superiores a $\pm 0,007 \text{ m}^3$ (Figura 1).

**Figura 1.** Dispersão dos resíduos das equações ajustadas para o Método Geométrico Original e Método Geométrico Modificado.**Figura 2.** Dispersão dos volumes da Cubagem Rigorosa (CR) e dos volumes estimados pelo Método Geométrico Original (MGO) e Método Geométrico Modificado (MGM).

No presente trabalho, a investigação do comportamento do método geométrico foi realizada pela observação da estimativa do volume individual, ou seja, para cada árvore, portanto, nota-se que apesar dos métodos perderem precisão nas árvores de maior diâmetro, essas árvores possuem poucos indivíduos e esses erros são compensantes, portanto podem não aumentar o erro do inventário. De forma semelhante, todavia buscando avaliar o comportamento do método na estimativa de volume para todo um povoamento florestal, Cabacinha (2003) encontrou resultados satisfatórios do método a partir do coeficiente angular da reta e estimando o diâmetro na altura relativa. O mesmo autor concluiu que os resultados gerados pelo método geométrico foram mais precisos que as estimativas de volume realizadas pelo inventário tradicional, utilizando equação de volume.

A análise de variância revelou a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) na interação (método x classe diamétricas). Assim, ao proceder ao desdobramento da interação, foi observado que ambos os métodos apresentaram resultados semelhantes estatisticamente à Cubagem Rigorosa (CR) nas menores classes diamétricas (classes 1, 2 e 3). Todavia, nas maiores classes diamétricas (classes 4 e 5), ambos os métodos apresentaram resultados diferentes da Cubagem Rigorosa, conforme pode ser observado na Tabela 2. Isso mostra que ambos os métodos oferecem boas estimativas de volume individual para árvores de pequenos diâmetros, entretanto, à medida que os diâmetros aumentam, ocorre uma perda de precisão nas estimativas do volume individual das árvores, corroborando também com os resultados observados na dispersão gráfica de resíduos da análise de regressão.

Tabela 2. Teste de médias do volume para os diferentes métodos nas diferentes classes diamétricas.

Classes Diamétricas	Intervalos (cm)	Altura Média (m)	Vol. Médio CR (m ³)	Vol. Médio MGO (m ³)	Vol. Médio MGM (m ³)
1	3,5 ---- 6,5	10,34	0,013822 ^a	0,014072 ^a	0,014352 ^a
2	6,5 ---- 9,5	13,10	0,034979 ^a	0,035013 ^a	0,035660 ^a
3	9,5 ---- 12,5	15,79	0,071733 ^a	0,072264 ^a	0,073144 ^a
4	12,5 ---- 15,5	16,22	0,106904 ^a	0,110094 ^b	0,111386 ^b
5	15,5 ---- 18,5	18,00	0,163573 ^a	0,168375 ^b	0,170481 ^c

^{a, b, c} Médias seguidas da mesma letra dentro de cada classe diamétrica (linha), não diferem ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey. Coeficiente de variação da análise de variância = 3,44%. DMS=0,002046 m³.

A Tabela 3 mostra a síntese dos dados analisados neste estudo. Pode ser observado que nas classes diamétricas superiores, os fatores de forma médios são menores ($\leq 0,45$) que nas classes diamétricas inferiores ($\geq 0,46$). Este resultado pode estar associado ao rápido crescimento apresentado pelas árvores de maior porte, que tendem a formar fustes mais afilados e também por fatores relacionados ao sítio florestal (SCOLFORO; THIERSCH, 2004). Portanto, tal afilamento pode ter influenciado na perda de precisão em ambos os métodos, para as árvores das maiores classes diamétricas. Ao retornar no princípio do método, que considera que cada intervalo da árvore pode ser descrito por uma reta, nota-se que a forma das árvores tem influências diretas nas estimativas de volume. No presente estudo foi observado que de forma geral, a perda de precisão na estimativa de diâmetros está relacionada ao fato dos métodos não conseguirem descrever bem o perfil de árvores muito cônicas, característica identificada nas árvores maiores, como observado também por Andrade et al. (2006). Já nas árvores menores, que tiveram seu desenvolvimento retardado por fatores genéticos ou ambientais, ocorre o contrário, pois, as mesmas apresentam fustes mais cilíndricos, o que gerou estimativas de diâmetro, mais precisas.

As Figuras 3 e 4 mostram os perfis dos fustes reconstituídos pelo MGO e MGM comparado ao perfil obtido pela Cubagem Rigorosa. Nas Figuras,

assim como verificado na síntese dos resultados, observou-se também, que ocorre uma redução da precisão dos métodos para as estimativas do diâmetro, nas maiores árvores. A perda de precisão nas maiores árvores foi mais freqüente na porção acima de hr, onde foram observados erros mais intensos. Esta porção apresenta características de forma que tendem para um cone, o que justifica os erros gerados pelos métodos. Andrade et al. (2006) ao utilizarem MGM 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 se distancia em direção à altura total, sobretudo em alturas maiores que hr₁. No entanto, os autores acrescentam que como se tratam de diâmetros menores, os erros observados podem não influenciar indesejavelmente a predição do volume.

Vale ressaltar que à medida que a altura das árvores aumenta (Tabela 3), aumenta-se também a quantidade de pontos de diâmetros medidos ao longo do fuste, havendo conseqüentemente uma maior possibilidade dos métodos errarem mais na estimativa do diâmetro, sendo este fato, uma possível explicação para os erros encontrados nas estimativas dos métodos estudados.

Quanto às estimativas de volume individual, nos dois métodos analisados, para a maioria das árvores, ocorreu uma superestimativa dos volumes. Para o MGO, das 100 árvores analisadas, 66 tiveram

Tabela 3. Estatísticas descritivas para os dados de volume obtidos a partir da Cubagem Rigorosa, MGO, MGM, Altura total e Fatores de Forma nas diferentes classes diamétricas.

		Classes diamétricas				
		1 (3,5 --- 6,5cm)	2 (6,5 --- 9,5 cm)	3 (9,5 --- 12,5cm)	4 (12,5 --- 15,5cm)	5 (15,5 --- 18,5cm)
Volume Cubagem Rig- orosa	Máx. (m ³)	0,030699	0,055942	0,092446	0,136506	0,204110
	Mín. (m ³)	0,007524	0,016231	0,048472	0,078532	0,120834
	Méd. (m ³)	0,013822	0,034979	0,071733	0,106904	0,163573
	CV (%)	34,87	37,66	18,21	15,53	13,69
Volume MGO	Máx. (m ³)	0,030699	0,060336	0,096966	0,139215	0,201444
	Mín. (m ³)	0,007524	0,018131	0,054035	0,084285	0,120583
	Méd. (m ³)	0,014072	0,035013	0,072264	0,110094	0,168375
	CV (%)	33,12	38,76	19,28	14,51	14,31
Volume MGM	Máx. (m ³)	0,031112	0,062287	0,098827	0,141385	0,204695
	Mín. (m ³)	0,007816	0,017952	0,054538	0,084157	0,119418
	Méd. (m ³)	0,014352	0,035660	0,073144	0,111386	0,170481
	CV (%)	34,38	39,63	19,66	14,91	14,89
Altura total (ht)	Máx. (m)	14,00	16,40	17,50	17,80	19,37
	Mín. (m)	5,70	8,50	13,90	14,40	16,60
	Méd. (m)	10,34	13,10	15,79	16,22	18,00
	CV (%)	19,88	16,25	6,16	5,40	5,25
Fator de Forma	Máx.	0,80	0,57	0,53	0,50	0,49
	Mín.	0,42	0,45	0,40	0,34	0,35
	Méd.	0,54	0,50	0,46	0,45	0,44
	CV (%)	17,93	7,12	5,36	7,87	7,78

o seu volume superestimado. Já no MGM, dentre as 100 árvores testadas, 78 tiveram o seu volume superestimado. Analisando o número de superestimativas dos métodos nas duas últimas classes diamétricas juntas, observa-se que 72,5% das árvores, tiveram o seu volume superestimado pelo MGO, enquanto que no MGM, a superestimativa de volume ocorreu para 90% das árvores. Ao analisar a classe 4 separadamente, foi observado que todas as árvores tiveram o seu volume superestimado pelo MGM.

Observando o comportamento dos métodos na estimativa de diâmetros ao longo do fuste, foi observado que ora os métodos superestimavam e ora subestimavam os diâmetros e, conseqüentemente, o volume das árvores. No entanto, em algumas árvores, apesar dos métodos errarem, superestimando os diâmetros em alguns pontos do fuste, em outros ocorriam subestimativas dos diâmetros, causando uma compensação de erros, resultando no final, em boas estimativas do volume individual das árvores, como pode ser observado nas Figuras 3 e 4 (letras b,

d, f, h e j) que representam as melhores estimativas de volume individual pelos métodos analisados.

Foram observados erros de estimativa nas bases das árvores (intervalo de 0,1 a 1,30 m). Estes erros estão associados às deformações em algumas árvores amostradas, sobretudo quando as deformações ocorriam acima dos 0,1m do fuste, como pode ser observado na reconstituição do perfil do fuste na Figura 3 (letras a e g) e Figura 4 (letra a), onde ocorrem pontos na região do fuste situados entre 0,1 m a 0,3 m, que os métodos subestimam os diâmetros e conseqüentemente o volume nessa região da árvore.

Dessa forma, pode-se inferir que o uso do método geométrico em plantios florestais bem conduzidos, com baixa variabilidade de formas e com árvores livres de fortes deformações no fuste, sobretudo na base, pode apresentar estimativas de volume mais precisas, a exemplo dos plantios clonais bem conduzidos, onde essas características são mais controladas e a forma mais homogênea, proporcionando um bom desempenho do método geométrico.

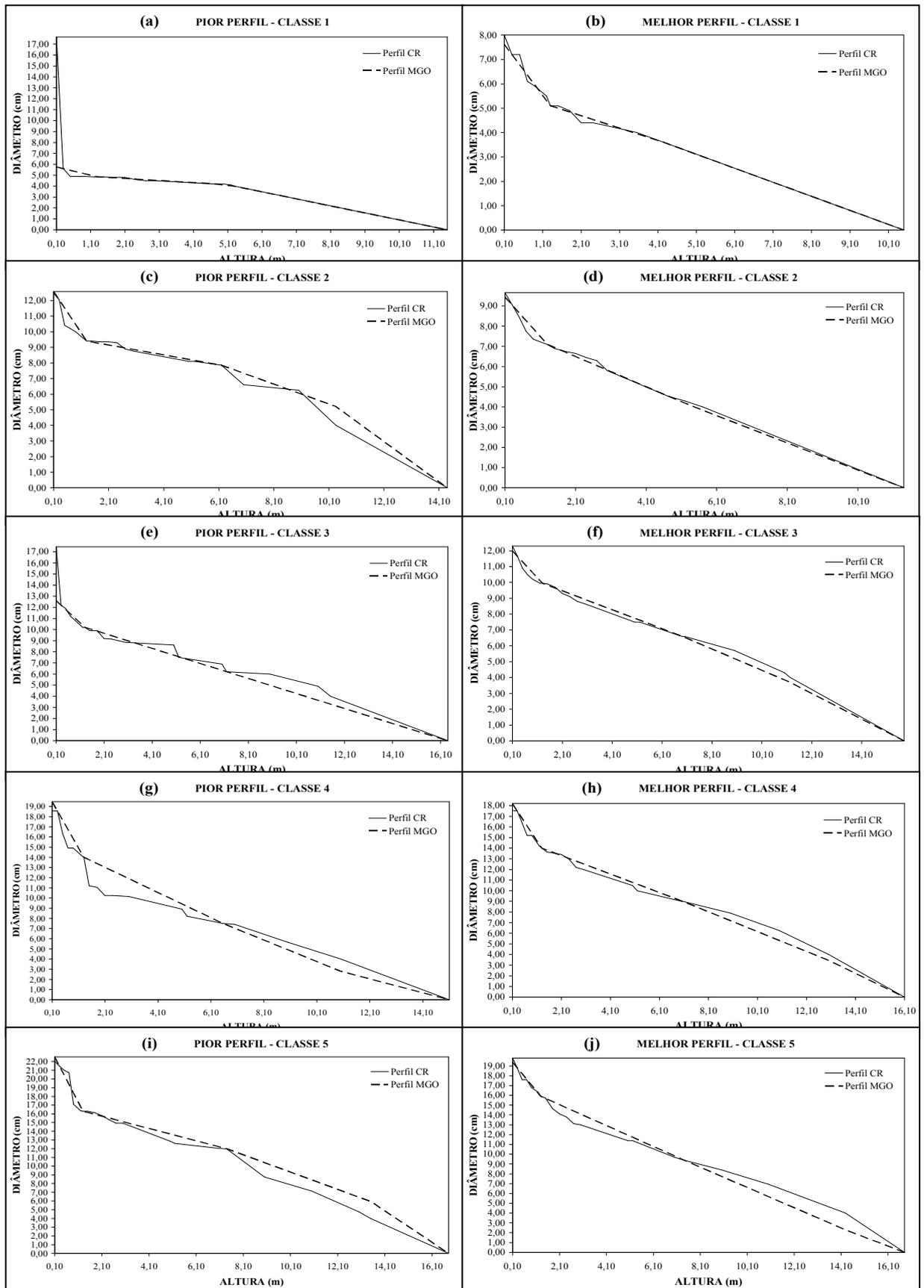


Figura 3. Piores (letras a, c, e, g, i) e melhores (letras b, d, f, h, j) perfis gerados pelo Método Geométrico Original (MGO) nas diferentes classes diamétricas.

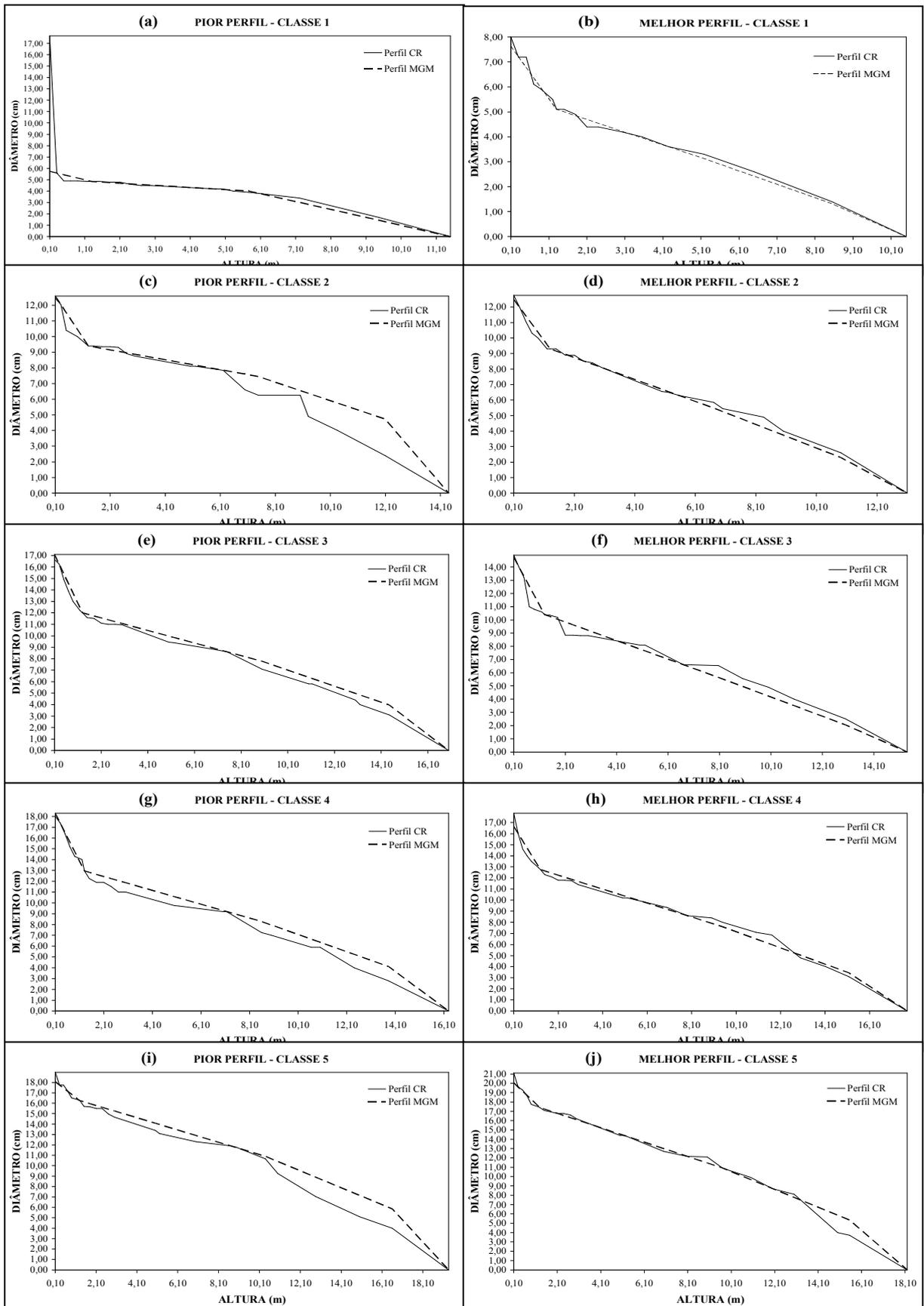


Figura 4. Piores (letras a, c, e, g, i) e melhores (letras b, d, f, h, j) perfis gerados pelo Método Geométrico Modificado (MGM) nas diferentes classes diamétricas

Este estudo visou verificar a eficiência do método geométrico quando aplicado em árvores de um povoamento com alta variabilidade de forma, implantado a partir de mudas produzidas por sementes de baixa qualidade e conduzido de maneira inadequada, situação de grande parte dos povoamentos de eucalipto do planalto de Vitória da Conquista. Entretanto outros estudos que avaliem a precisão do método geométrico para as mesmas condições em situações de campo, medindo o diâmetro na altura relativa com instrumentos óticos ou cubando árvores e obtendo os diâmetros somente para as posições necessárias para a aplicação do método, o que diminuiria significativamente o tempo de cubagem em relação aos métodos tradicionais, bem como estudos sobre a intensidade amostral ideal para aplicação do método em diferentes situações devem ser realizados.

CONCLUSÕES

O Método Geométrico Original e o Método Geométrico Modificado geram boas estimativas de volume individual, sendo que o Método Geométrico Original propicia melhores estimativas do volume individual que o Método Geométrico Modificado;

A forma da árvore apresenta influências diretas no comportamento dos métodos, sendo que a concinidade provoca perda de precisão nas estimativas de volume realizadas pelos métodos em razão do afilamento do fuste causado pelo rápido crescimento, sobretudo, nas árvores das maiores classes diamétricas (DAP > 12 cm). O método geométrico não propicia estimativas precisas do volume em árvores com fator de forma médio inferiores a 0,46;

Em povoamentos mal conduzidos e implantados a partir de mudas produzidas de sementes de baixa qualidade, com muita heterogeneidade de forma, bem como, a existência de muitas árvores com deformações na base, as estimativas de volume pelos métodos estudados podem ser negativamente afetadas.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. de; NASCIMENTO, S. S. de. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p.126-135, 2009.

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

ra 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**. 2003. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

CABACINHA, C. D.; MELLO, J. M. Precisão das estimativas do volume por unidade de área de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **Revista Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, SP, n. 2, Ago. 2003. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/florestal02/>>. Acesso em: 10 maio. 2010.

CABACINHA, C. D.; MELLO, J. M.; DALANESI, P. E. Acuracidade nas estimativas volumétricas de *Eucalyptus saligna*. **Revista Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, SP, n. 2, Ago. 2003. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/florestal02/>>. Acesso em: 10 maio. 2010.

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.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 321-328, 2002.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Uso do método da altura relativa em inventário florestal de um povoamento de *Pinus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 865-873, 2004.

NOVAES, A. B. et al. Caracterização e demanda florestal da região Sudoeste da Bahia. In: SANTOS, A. F. et al. (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 et al. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 133-141, 2009.

SANTOS, R. M. et al. Estrutura e florística de um remanescente florestal na fazenda Ribeirão, município de Juvenília, MG, Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 4, p.154-162, 2008.

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

SCOLFORO, J. R. S. THIERSCH, C. R. **Biometria**

Florestal: medição, volumetria e gravimetria. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 285 p.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia Florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 178 p.

THIERSCH, C. R. **Modelagem da densidade básica, do volume e do peso seco para plantios de clones de *Eucalyptus* sp.** 2002. 197 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

THIERSCH, C. R. et al. Acurácia dos métodos para estimativa do volume comercial de clones de *Eucalyptus* sp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 167-181, 2006.