



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA

**ESTIMATIVAS DE VOLUME INDIVIDUAL PELO MÉTODO
GEOMÉTRICO PARA UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla* NO
SUDOESTE BAIANO**

RAFAEL COSTA DE ALMEIDA

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

JULHO - 2009

RAFAEL COSTA DE ALMEIDA

**ESTIMATIVAS DE VOLUME INDIVIDUAL PELO MÉTODO
GEOMÉTRICO PARA UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla* NO
SUDOESTE BAIANO**

Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências para obtenção do Título de Engenheiro Florestal.

Orientador:

Prof.º *D.Sc.* Alessandro de Paula

Co-orientador:

Prof.º *D.Sc.* Christian Dias Cabacinha

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA

JULHO – 2009

RAFAEL COSTA DE ALMEIDA

**ESTIMATIVAS DE VOLUME INDIVIDUAL PELO MÉTODO
GEOMÉTRICO PARA UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla* NO
SUDOESTE BAIANO**

Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências para obtenção do Título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. *D.Sc.* Alessandro de Paula - UESB
Orientador/Presidente

Prof. *D.Sc.* Luis Carlos de Freitas - UESB
Membro

Prof. *D.Sc.* Adalberto Brito de Novaes – UESB
Membro

ESTIMATIVAS DE VOLUME INDIVIDUAL PELO MÉTODO GEOMÉTRICO PARA UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla* NO SUDOESTE BAIANO

Rafael Costa de Almeida¹ e Alessandro de Paula²

RESUMO - O objetivo deste estudo foi avaliar o a precisão do Método Geométrico Original e do Método Geométrico Modificado, desenvolvidos por Andrade (2001), na estimativa do volume individual de 100 árvores da espécie *Eucalyptus urophylla*, oriundas de um plantio com alta variabilidade de forma, com 5 anos de idade, localizado no município de Vitória da Conquista – BA. Para tanto, estas árvores foram cubadas rigorosamente e separadas em 5 classes diamétricas, tendo os seus volumes reais comparados com os volumes estimados pelos métodos. 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, bem como, à presença de deformações no fuste.

Palavras-chaves: Inventário florestal, método geométrico, *taper*.

ESTIMATES OF INDIVIDUAL VOLUME FOR THE METHOD OF THE RELATIVE HEIGHT FOR A STAND OF *Eucalyptus urophylla* IN THE SOUTHWEST FROM BAHIA

*ABSTRACT - The purpose of this study was to evaluate the precision of the Original Geometric Method and of the Modified Geometric Method, developed by Andrade (2001), to estimate the individual volume of 100 trees of the species *Eucalyptus urophylla*, from a stand of 5 years-old with high form variability, located in the district of Vitória da Conquista - BA. Then, these trees were rigorously cubed and shared in 5 diameter's groups and their real volumes were compared with the estimated volumes by the methods. The results generally showed that the methods have made good volume estimates, however, was observed fails on precision of the estimates related with the conical form of the largest trees from the biggest diameter groups and the presence of deformations on the log.*

Key words: Forest inventory, geometric method, taper.

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Florestal da UESB - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

² Professor do Curso de Engenharia Florestal da UESB - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal apresenta grande importância para o desenvolvimento econômico do país, fato este, que justifica a realização dos inventários florestais, visando o conhecimento adequado do estoque madeireiro para que um planejamento de curto, médio e longo prazo possa ser realizado.

Os métodos tradicionais adotados para estimar o volume de madeira nos inventários florestais envolvem, sobretudo, a utilização de equações volumétricas. Para obtê-las, no entanto, é necessário utilizar algum método de cubagem rigorosa, realizada em árvores previamente selecionadas, as quais são abatidas para a medição de vários diâmetros ao longo do fuste, atividade esta, que, além de ser trabalhosa, foge à rotina das medições do *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 fazem com que a cubagem seja, em muitas 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, exatamente promover rapidez e redução de custos dos inventários. Na utilização original do método (Método Geométrico Original), o autor recomenda medir apenas a altura total (ht) e três diâmetros situados em diferentes alturas a partir do solo: 0,3 m, 1,3 m (*dap*), e na altura relativa (hr), obtida pela fórmula $hr = \frac{(ht - 2)}{2}$. Numa versão alterada do método, conhecida como Método Geométrico Modificado, o mesmo autor recomenda ainda a medição de diâmetro em mais três alturas relativas (hr_1 , hr_2 e hr_3), definidas, respectivamente, pelas expressões $hr_1 = \frac{(ht - 1,7)}{1,7}$, $hr_2 = \frac{(ht - 1,4)}{1,4}$ e $hr_3 = \frac{(ht - 1,1)}{1,1}$. Posteriormente, em ambos os métodos, conceitos de geometria analítica são aplicados para gerar o perfil do tronco e através de modificações algébricas feitas no coeficiente angular da reta, formada em intervalos pré-definidos na árvore em pé, são geradas as expressões de *taper*, sem a necessidade de cubar a árvore rigorosamente.

Além desta vantagem, Leite e Andrade (2002) mostram que as medições prescritas podem ser feitas 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.

Cabacinha (2003) concluiu que a utilização do método geométrico a partir do coeficiente angular da reta, estimando o diâmetro na altura relativa, proporciona boas estimativas de volume e que a intensidade amostral de cinco árvores por parcela foi suficiente para propiciar estimativas precisas do volume em plantios clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*.

É sabido que a forma da árvore é uma característica que possui influência direta sobre a precisão das estimativas de volume individual e, conseqüentemente do volume do povoamento florestal. Scolforo e Thiersch (2004) definem esta característica como o afilamento normal que ocorre da base para o topo na maioria das espécies florestais, sendo influenciada por vários fatores, tais como: espécie, idade, desbates e podas, posição sociológica, espaçamento, herdabilidade e qualidade do sítio.

Tendo em vista a importância de estudos sobre os métodos de quantificação do estoque madeireiro visando a melhor gestão deste recurso florestal e, conseqüentemente, o desenvolvimento e consolidação das atividades de reflorestamento, 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*, oriundas de um plantio com alta variabilidade de forma. Foi avaliado também o comportamento dos métodos em diferentes classes diamétricas, bem como, as estimativas de diâmetro na reconstituição do fuste de algumas árvores destas classes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Este estudo foi realizado num povoamento de *Eucalyptus urophylla* de 17,58ha, plantado num espaçamento 3,0 x 2,5 metros, com cinco anos de idade, conduzido em regime de alto fuste, localizado no município de Vitória da Conquista – BA.

O povoamento está situado entre os quadrantes E: 275900 e N: 8305700 no sistema de coordenadas UTM (Figura 1), apresentando altitude de 838 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw (clima de savana com chuvas periódicas e com inverno pouco chuvoso). O índice pluviométrico varia em torno dos 733 mm/ano e a temperatura média é de 19,5°C.

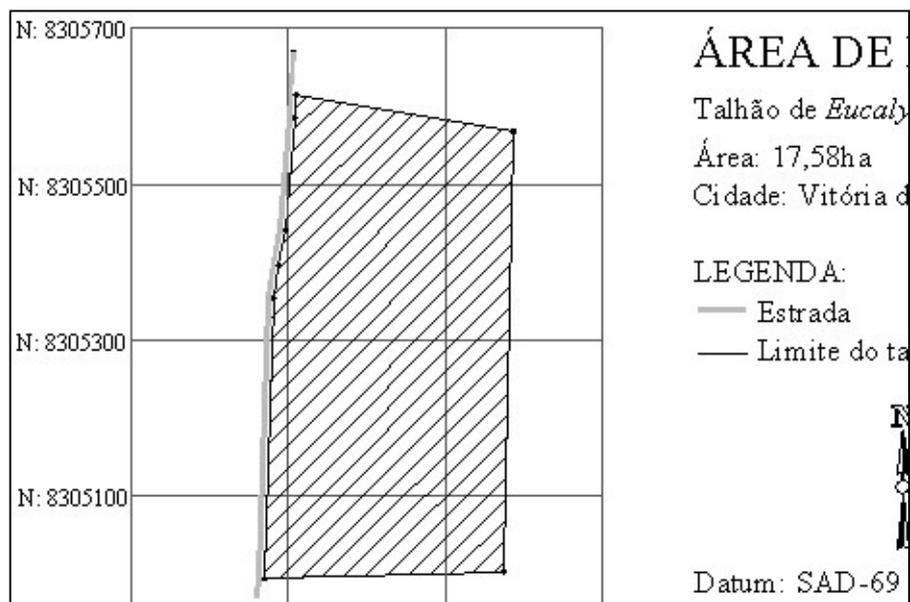


FIGURA 1: Mapa georreferenciado da área de estudo.
FIGURE 1: Geocoding map of the study area.

2.2. Coleta e processamento dos dados

Foram lançadas, aleatoriamente, 10 parcelas circulares de 360 m², nas quais, todas as árvores foram abatidas e cubadas rigorosamente pelo método de Smalian, medindo-se com uma suta de 80 cm os diâmetros do fuste 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; 3,00 metros seguindo sucessivamente a medição de 2 em 2 metros, até a altura total.

É importante ressaltar que, apesar de ter sido utilizado dados medidos em árvores abatidas, o método geométrico viabiliza a medição dos diâmetros com a árvore em pé, utilizando-se, por exemplo, um Relascópio de Bitterlich ou um Pentaprisma (Leite e Andrade, 2004).

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 0,3 m ($h_{0,3}$), dap ($h_{1,3}$), altura relativa (hr), obtida pela fórmula $hr = \frac{(ht - 2)}{2}$, em cada árvore das parcelas. Utilizando estas informações, foram obtidos os Coeficientes Angulares das Retas (CAR's), para três diferentes intervalos do fuste (Intervalo I = 0,1 a 1,30m; Intervalo II = 1,30 a hr ; Intervalo III = hr a ht), aplicando-se as expressões a seguir:

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

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

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

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 ;

$d_{h_{0,3}}$, dap_j e d_{hr_j} = Diâmetros medidos à $h_{0,3}$; $h_{1,3}$ 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 de *taper* 4, 5 e 6, que possibilitaram estimar os diâmetros nos três intervalos distintos do fuste:

$$d_{(0,1 \leq hij \leq 1,30)} = \frac{2h_{ij} - 2,6}{CAR_{Ij}} + dap_j \quad (4)$$

$$d_{(1,30 < hij \leq hr)} = \frac{2h_{ij} - 2,6}{CAR_{IIj}} + dap_j \quad (5)$$

$$d_{(hr < hij \leq ht)} = \frac{h_{ij} - 1,3}{CAR_{IIj}} + \frac{h_{ij} - ht}{CAR_{IIIj}} + \frac{dap_j}{2} \quad (6)$$

Em que: $d_{(0,1 \leq hij \leq ht)}$ = Diâmetro na hi -ésima altura desejada entre 0,1m 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.

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: $hr_1 = \frac{(ht-1,7)}{1,7}$; $hr_2 = \frac{(ht-1,4)}{1,4}$ e $hr_3 = \frac{(ht-1,1)}{1,1}$. 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 a 1,30m; Intervalo II = 1,30 a hr_1 ; Intervalo III = hr_1 a hr_3 ; Intervalo IV = hr_3 a ht), sendo realizadas a partir das seguintes expressões:

$$d_{(0,1 \leq h_i \leq 1,3)} = \frac{2h_i - 2,6}{CAR_I} + dap \quad (7)$$

$$d_{(1,3 < h_i \leq hr_1)} = \frac{2h_i - 2,6}{CAR_{II}} + dap \quad (8)$$

$$d_{(hr_1 < h_i \leq hr_3)} = \left(\frac{h_i - hr_1}{hr_1 - hr_2} \right) * \left(\frac{2hr_1 - hr_2 - 1,3}{2CAR_{II}} + \frac{ht - hr_2}{2CAR_{III}} + \frac{d_{1,3}}{4} \right) + \frac{h_i + hr_1 - 2,6}{CAR_{II}} + dap \quad (9)$$

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

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.

2.3. Critérios para a avaliação da precisão dos métodos

2.3.1. Análise de regressão

Para cada um dos métodos analisados (MGO e MGM), foi feita uma análise de regressão, que permitiu avaliar de maneira geral a precisão dos métodos individualmente, bem como, avaliar entre eles, qual método gerava o volume mais próximo ao da cubagem rigorosa.

Para tanto, ajustou-se o modelo linear múltiplo $V_i = \beta_0 + \beta_1 \hat{V}_i + \beta_2 \hat{V}_i^2$ 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.

Para avaliar a precisão das estimativas realizadas pelos métodos, o coeficiente de determinação (R^2) em percentagem, o coeficiente de correlação (r), o erro padrão residual (S_{yx}), na escala original da variável dependente e em percentagem, e a dispersão gráfica dos resíduos das equações de regressão ajustadas, foram analisadas.

2.3.2. Teste de Médias

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 em blocos casualizados em esquema fatorial com parcelas subdivididas no tempo. Os fatores estudados foram os métodos (3 níveis) e as classes diamétricas (5 níveis).

Nos experimentos em que a interação “método x classes diamétricas” foi significativa ao nível de 95% de probabilidade de acerto, procedeu-se o desdobramento da interação, aplicando o teste Tukey para as médias dos volumes em cada tratamento. Todas as análises estatísticas foram processadas com o uso do software SISVAR, desenvolvido por Ferreira (2000).

2.3.3. Representação gráfica dos perfis dos fustes

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 do 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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise de regressão

Os resultados da análise de regressão mostraram que tanto o MGO como o MGM apresentaram boas medidas de precisão na estimativa de volume individual das árvores, realizada pela equação ajustada (Tabela 1). Observa-se também nesta tabela, que os métodos apresentaram resultados semelhantes, apesar dos resultados do MGO serem um pouco superiores que aos do MGM.

TABELA 1: Medidas de precisão obtidas no ajuste do modelo linear múltiplo.

TABLE 1: Precision measures obtained in the adjustment of the multiple lineal model.

Método	Equação	R ² (%)	r	Syx (%)	Syx (m ³ /árv.)
MGO	$Y = -0,000011 + 1,001876 * \hat{V}_{MGO} - 0,196660 * \hat{V}_{MGO}^2$	99,55	0,9977	4,76	0,003725
MGM	$Y = -0,000302 + 1,000598 * \hat{V}_{MGM} - 0,256943 * \hat{V}_{MGM}^2$	99,51	0,9976	4,96	0,003882

Cabacinha (2003) encontrou resultados semelhantes na estimativa de volume por parcela em plantios clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, resultando em desvio padrão residual (S_{yx}) variando entre 2,67 e 2,69% e coeficiente de determinação (R^2) de 92,99 e 92,91%, respectivamente para o MGO e MGM com os CAR's estimados, para ambos os métodos. Ainda segundo o mesmo autor, o método geométrico apresentou resultados superiores ao inventário tradicional utilizando equação de volume. Thiersch et al. (2006) comentam 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 disso, foi observado que em ambos os métodos, houve uma perda de precisão do modelo de regressão nas estimativas de volume para as árvores de maior diâmetro (Figura 2).

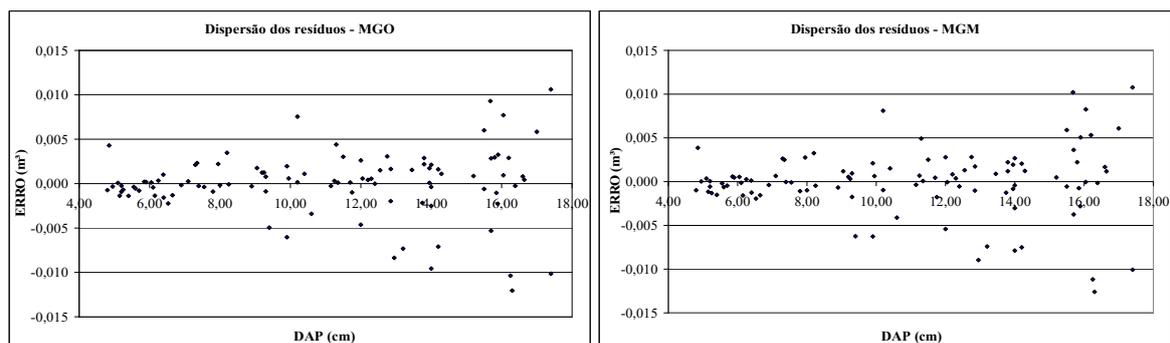


FIGURA 2: Dispersão dos resíduos das equações ajustadas para o MGO e MGM.

FIGURE 2: Dispersion of the residues of the equations adjusted for MGO and MGM.

A Figura 3 mostra que apesar dos métodos perderem precisão nas árvores de maior diâmetro, de maneira geral, propiciam boas estimativas de volume.

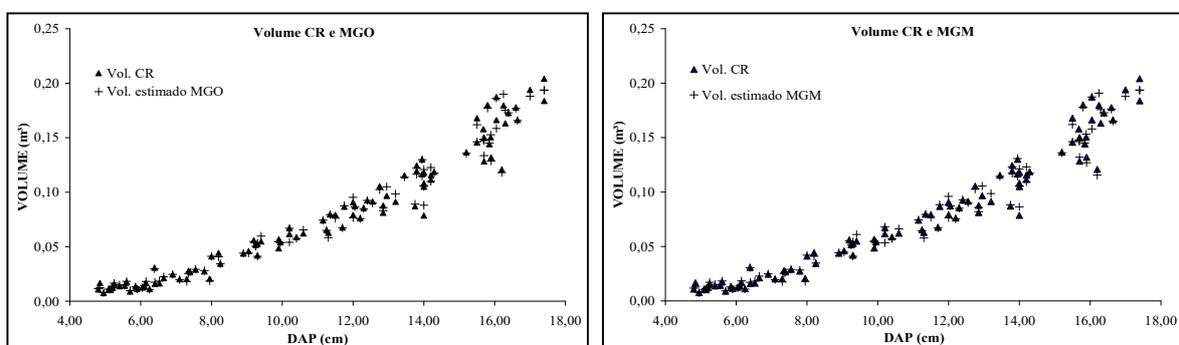


FIGURA 3: Gráficos do cruzamento de dados da Cubagem Rigorosa (CR) com os dados estimados do MGO e MGM.

FIGURE 3: Graphics of the crossing of data of Rigorous Cubage with the estimated data of MGO and MGM.

3.2. Teste de médias

O teste de médias mostrou a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$), assim, ao proceder o desdobramento desta interação, foi observado que ambos os métodos apresentaram resultados semelhantes estatisticamente à Cubagem Rigorosa nas menores classes diamétricas (classes 1, 2 e 3), no entanto, nas maiores classes diamétricas (classes 4 e 5), ambos os métodos apresentaram resultados diferentes da Cubagem Rigorosa, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Este resultado demonstra que ambos os métodos oferecem boas estimativas de volume individual para árvores de pequenos diâmetros, à medida que os diâmetros aumentam, ocorre uma perda de precisão nas estimativas do volume individual das árvores. Este resultado corrobora com os resultados mostrados pela dispersão gráfica de resíduos da análise de regressão, em que foram observados, para ambos os métodos, que ocorrem menores erros na estimativa de volume individual para as árvores de menor diâmetro e maiores erros na estimativa de volume individual para as árvores das classes diamétricas superiores.

TABELA 2: Resultados do teste de médias do volume para os diferentes métodos (Cubagem Rigorosa - CR, MGO e MGM), nas diferentes classes diamétricas.

TABLE 2: Results of the averages test of the volume for the different methods (Rigorous Cubage – CR, MGO and MGM), in the different diameter groups.

Nº da Classe	Intervalo da Classe (cm)		Vol. Médio CR (m ³)	Vol. Médio MGO (m ³)	Vol. Médio MGM (m ³)
1	3,5	6,5	0,013822 ^a	0,014072 ^a	0,014352 ^a
2	6,5	9,5	0,034979 ^a	0,035013 ^a	0,035660 ^a
3	9,5	12,5	0,071733 ^a	0,072264 ^a	0,073144 ^a
4	12,5	15,5	0,106904 ^a	0,110094 ^b	0,111386 ^b
5	15,5	18,5	0,163573 ^a	0,168375 ^b	0,170481 ^c

^{a, b, c} Médias precedidas da mesma letra dentro de cada classe diamétrica, são estatisticamente semelhantes pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade de acerto. CV(%) = 3,44

3.3. Representação gráfica dos perfis dos fustes

A Tabela 3 mostra uma síntese dos dados analisados neste estudo. Nesta mesma tabela pode ser observado que nas classes diamétricas superiores, os Fatores de Forma médios são menores que nas classes diamétricas inferiores. Este fato indica que o rápido crescimento apresentado pelas árvores maiores gerou fustes mais afilados, o que indica que esta característica tenha influenciado nos erros gerados em ambos os métodos nas classes de maior diâmetro. Ao retornar ao 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, pois, 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, que são justamente as árvores maiores. Já

nas árvores menores, ocorre o contrário, pois como estas árvores apresentam fuste com formato mais cilíndrico, as estimativas de diâmetro são mais precisas, como pode ser observado Figuras 4 e 5.

TABELA 3: Volumes para a Cubagem Rigorosa, MGO e MGM e Fatores de Forma nas diferentes classes diamétricas.

TABLE 3: Volumes for the Rigorous Cubage, MGO and MGM and Factors of Form in the different diameter group.

		Classes diamétricas				
		1	2	3	4	5
Volume Cubagem Rigorosa	Máx. (m ³)	0,007524	0,055942	0,092446	0,136506	0,204110
	Mín. (m ³)	0,013822	0,016231	0,048472	0,078532	0,120834
	Méd. (m ³)	0,029822	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)	0,013822	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
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

As Figuras 4 e 5 mostram também que a redução da precisão dos métodos ao estimarem o diâmetro nas maiores árvores é mais freqüente na porção acima de hr , onde foram observados erros mais intensos. Esta porção apresenta características de formato que tendem para um cone, o que justifica os erros gerados pelos métodos, como comentado anteriormente. Andrade et al. (2006) ao utilizarem MGM para caracterizar o perfil do tronco de árvores de eucalipto, observou 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 hr_1 . No entanto, os autores acrescentam que como se tratam de diâmetros menores, os erros evidenciados podem não influenciar indesejavelmente a predição do volume.

Vale ressaltar também, que à medida que a altura das árvores aumenta, aumenta-se também a quantidade de pontos de diâmetro medidos ao longo do fuste, e conseqüentemente a possibilidade dos métodos errarem mais na estimativa do diâmetro. Outra possibilidade da perda de precisão nas maiores classes também pode estar associada ao fato de que a cubagem rigorosa foi realizada de 2 em 2 metros a partir de 3,0 metros do solo, o que pode ter

inviabilizado a medição de diâmetros importantes na determinação do perfil do fuste pela Cubagem Rigorosa.

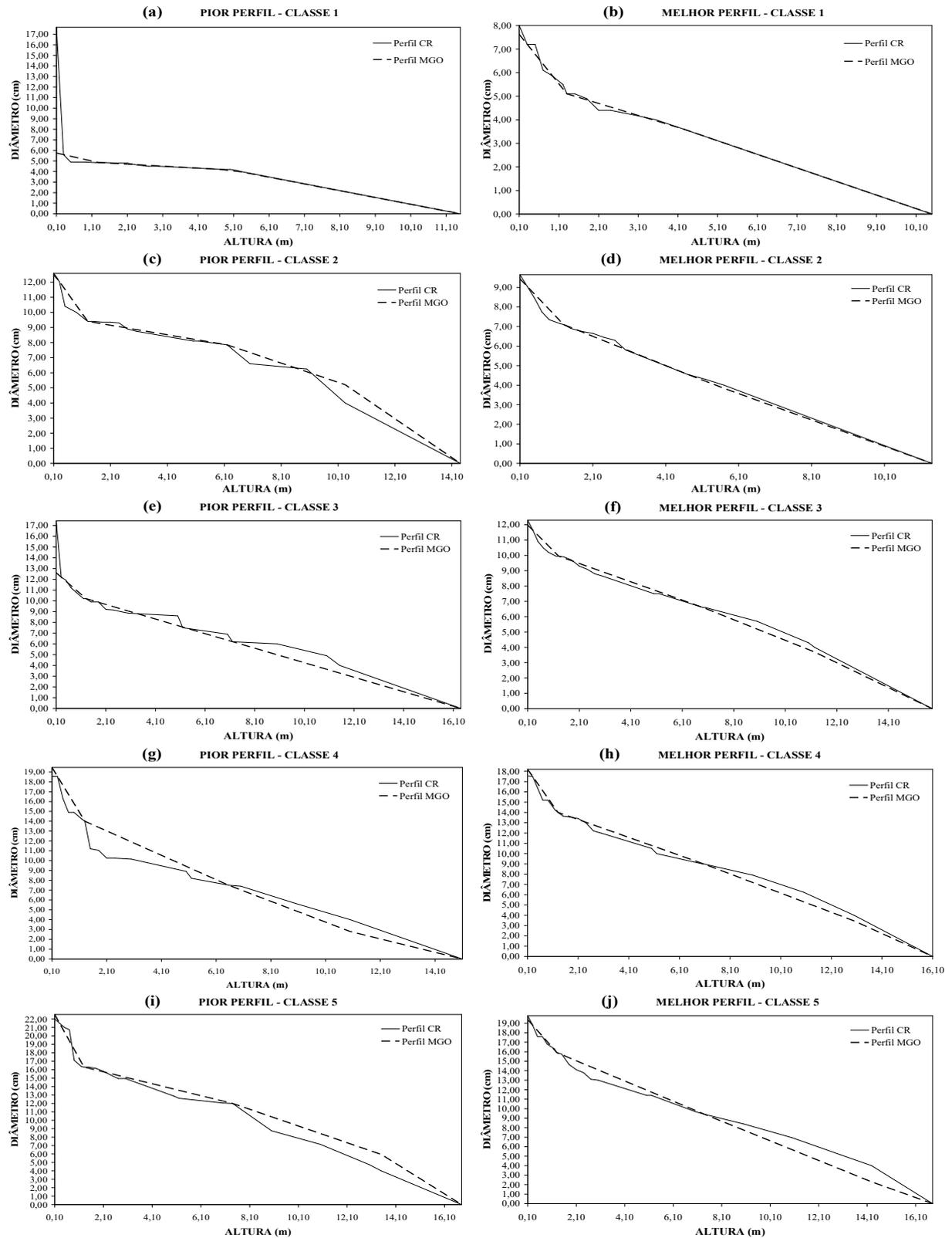


FIGURA 4: Piores (letras a, c, e, g, i) e melhores (letras b, d, f, h, j) perfis gerados pelo MGO nas diferentes classes diamétricas.

FIGURE 4: Worst (letters a, c, e, g, i) and best (letters b, d, f, h, j) profiles generated by MGO in the different diameter groups.

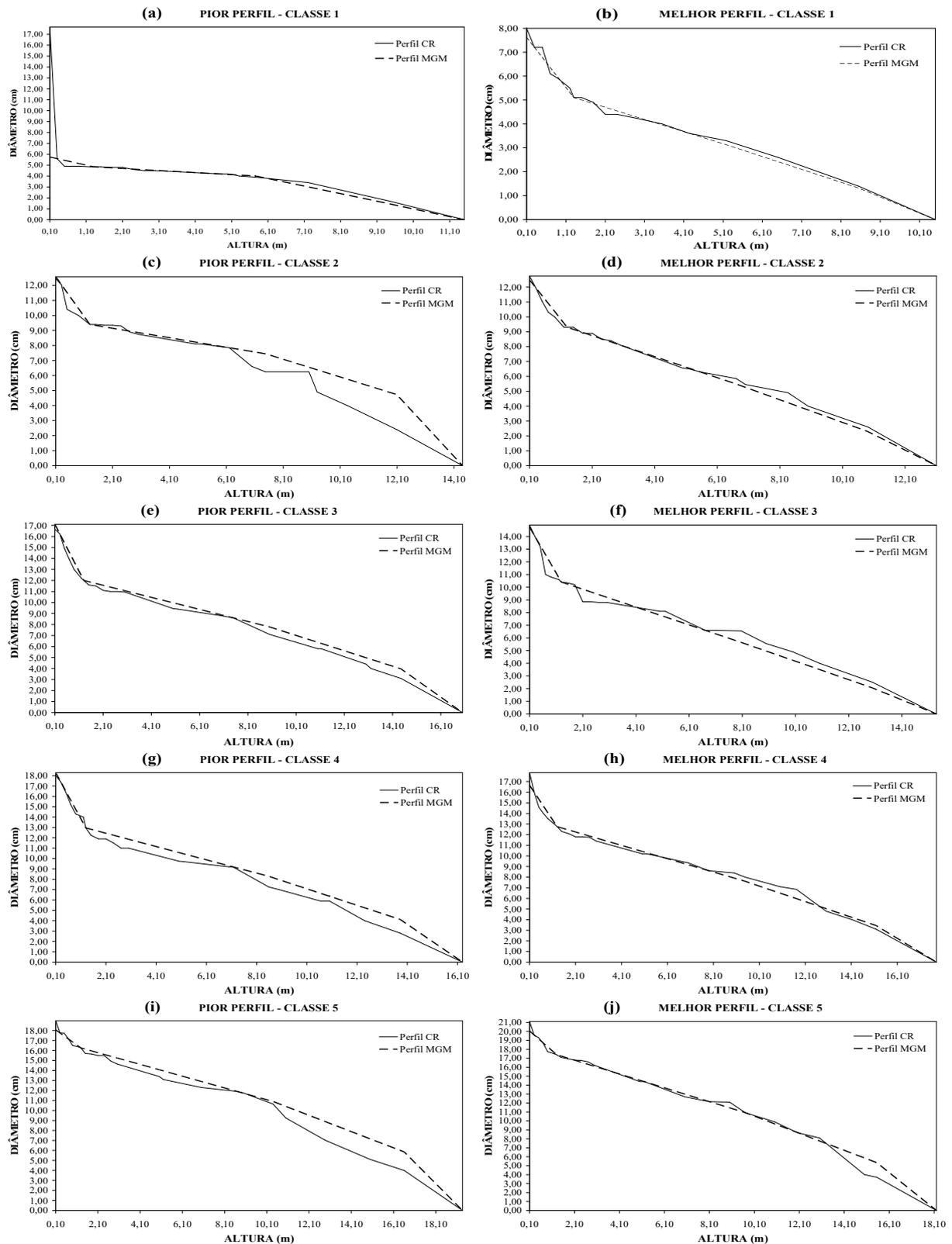


FIGURA 5: Piores (letras a, c, e, g, i) e melhores (letras b, d, f, h, j) perfis gerados pelo MGM nas diferentes classes diamétricas.

FIGURE 5: Worst (letters a, c, e, g, i) and best (letters b, d, f, h, j) profiles generated by MGM in the different diameter groups.

As estimativas de volume individual realizadas pelos dois métodos analisados mostraram que, para a maioria das árvores, ocorreu uma superestimativa dos volumes. Para o MGO, das 100 árvores analisadas, 66 tiveram 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, 90% das árvores tiveram o seu volume superestimado nas mesmas classes analisadas. Ao analisar a classe 4 separadamente, foi observado que todas as árvores tiveram o seu volume superestimado pelo MGM.

Ao analisar 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 muito, superestimando os diâmetros em alguns pontos do fuste, em outros ocorriam subestimativa dos diâmetros, o que compensava os erros gerados anteriormente, resultando no final do processo, boas estimativas do volume individual das árvores, como pode ser observado nas figuras 4 e 5, letras b, d, f, h e j, que representam as melhores estimativas de volume individual pelos métodos analisados.

Foram observados também, erros 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 0,10 m do fuste, como pode ser observado na reconstituição do perfil do fuste na figura 4, letras a e g e Figura 5, letra a, onde ocorrem pontos na região do fuste situados entre 0,1 a 0,3 m, que os métodos subestimam os diâmetros e conseqüentemente o volume nesta região da árvore.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo permitiram concluir que:

Em geral, nas condições em que este estudo foi realizado, os métodos, geométrico original e modificado geraram boas estimativas de volume, apesar de superestimarem o volume.

A forma da árvore apresentou influências diretas no comportamento dos métodos, sendo que a conicidade provoca perda de precisão dos métodos. Em plantios muito heterogêneos, com existência de muitas árvores com deformações na base, as estimativas de volume podem ser afetadas negativamente pela forma da árvore. Assim, deve-se ter cautela na utilização do método em povoamentos florestais com grande variabilidade de formas.

Diante das vantagens de custo e tempo que o método oferece ao excluir a necessidade de se realizar a cubagem rigorosa na execução de inventários florestais, são recomendados mais estudos para um maior aperfeiçoamento da utilização do método geométrico em povoamentos heterogêneos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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: Universidade Federal de Lavras, 2003. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, 2003.

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.

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.

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

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