

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DA AMOSTRA EM UM INVENTÁRIO VOLUMÉTRICO E DE BIOMASSA DE TRONCOS¹

Carlos Pedro Boechat Soares²
Francisco de Paula Neto²

1. INTRODUÇÃO

Em grandes áreas florestais, o inventário florestal por amostragem, utilizando uma amostra representativa, fornecerá todas as informações necessárias em menor tempo e menor custo do que o inventário com 100% da população. Para isso, a amostra deve ser livre de erros sistemáticos e ter tamanho suficiente para representar os níveis de probabilidade e de ocorrência da população. Este último requisito irá depender do tamanho da população, de sua variabilidade e da precisão requerida no inventário (1,2).

Com freqüência, as empresas florestais precisam de informações sobre a produção volumétrica, bem como sobre a produção de biomassa da população. Surge, então, a necessidade de adaptação dos procedimentos usuais de levantamentos florestais para inventariar a biomassa das árvores e dos povoamentos. Para isso, primeiramente define-se a intensidade amostral a ser efetuada, de modo a garantir estimativas da biomassa produzida dignas de confiança e os mesmos níveis de precisão.

Este trabalho tem por objetivos determinar o tamanho da amostra e a intensidade amostral em um inventário volumétrico e de biomassa de troncos e compará-los a um dado nível de precisão requerida.

¹ Aceito para publicação em 15.04.1996.

² Departamento de Engenharia Florestal da UFV. 36571-000, Viçosa, MG.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Lançamento de Parcelas e Ajuste de Modelos Hipsométricos

Para o desenvolvimento deste estudo, utilizou-se um povoamento de *Eucalyptus grandis*, com 77 meses de idade, denominado Projeto Alto do Pomar, localizado no Campus da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais. O plantio original foi feito em espaçamento 3x2 m. Foram lançadas seis parcelas retangulares de 500 m² (20x25 m) num esquema de amostragem simples e ao acaso, constituindo um inventário-piloto. Os diâmetros à altura do peito (DAP) de todas as árvores maiores que 5,0 cm foram medidos. Em cada parcela, também foram medidas as alturas totais (H) das 15 primeiras árvores para ajuste e seleção do melhor modelo hipsométrico, que será utilizado na estimação das alturas das árvores das parcelas, uma vez que a medição da altura total de todas as árvores das parcelas onera o custo do inventário.

As seguintes equações hipsométricas foram adotadas para a seleção:

$$H = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 \quad (1)$$

$$H = b_0 + b_1 \ln DAP \quad (2)$$

$$\ln(H) = b_0 + b_1 \ln DAP \quad (3)$$

$$H = b_0 + b_1 (1/DAP) \quad (4)$$

em que

b_0, b_1, b_2 = coeficientes da equação;

H = altura total das árvores;

DAP = diâmetro à altura do peito;

Ln = logaritmo neperiano.

A escolha da melhor equação hipsométrica irá basear-se nas seguintes medidas de precisão: coeficiente de determinação, R^2 , e erro-padrão residual, $S_{y,x}$, expresso em percentagem, para a comparação de equações de mesma natureza. Para a comparação das equações de naturezas diferentes serão utilizados procedimentos gráficos para se visualizar o comportamento uniforme dos valores residuais em relação ao DAP e às alturas totais observadas e estimadas pela equação. Será considerada a melhor equação aquela que apresentar níveis de precisão satisfatórios e significativos e comportamento uniforme dos valores residuais.

2.2. Equações de Volume e Biomassa

O volume do tronco, com casca, de cada árvore medida nas parcelas, foi obtido pela equação de Schumacher-Hall (3), ajustada com os dados de campo de SOARES (4):

A biomassa do tronco de cada árvore foi obtida somando-se as estimativas da biomassa do tronco sem casca e as estimativas da biomassa da casca, obtidas pelas seguintes equações, desenvolvidas por SOARES (4):

$$\begin{aligned} \text{PST} &= \exp(-5,59465+1,72399\text{LnDH}) & (6) \\ R^2 &= 0,9677; S_{y.x} = \pm 17,61 \text{ kg} \end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned} \text{PSC} &= \exp(-6,66880+0,996512\text{LnD}^2\text{H}) & (7) \\ R^2 &= 0,9387; S_{y.x} = \pm 1,6872 \text{ kg} \end{aligned}$$

em que

PST = biomassa do tronco, em kg;

PSC = biomassa da casca, em kg;

exp = exponencial;

Ln = logaritmo neperiano;

D = diâmetro à altura do peito, em cm;

H = altura total da árvore, em m.

2.3. Cálculo do Tamanho da Amostra e da Intensidade Amostral

O tamanho da amostra, tanto para o inventário volumétrico quanto para o de biomassa, foi calculado considerando-se a população em estudo como uma população finita. A expressão utilizada para o cálculo foi a seguinte (1):

$$n = \frac{t^2 \cdot (CV)^2}{(E\%)^2 + t^2 \cdot (CV)^2} \cdot N$$

em que

n = número de parcelas a serem medidas;

t = valor de t associado a um nível de probabilidade e a $n-1$ graus de liberdade;

CV = coeficiente de variação;

E% = precisão requerida, em percentagem, 10%;

N = número total de unidades de amostra cabíveis na população.

Uma vez definido o tamanho da amostra, a intensidade de amostragem, ou fração da população que deverá ser coberta pela amostra, para garantir um nível de precisão da estimativa da produção volumétrica ou da biomassa, é dada pela razão

$$[n / N] * 100$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Escolha da Relação Hipsométrica

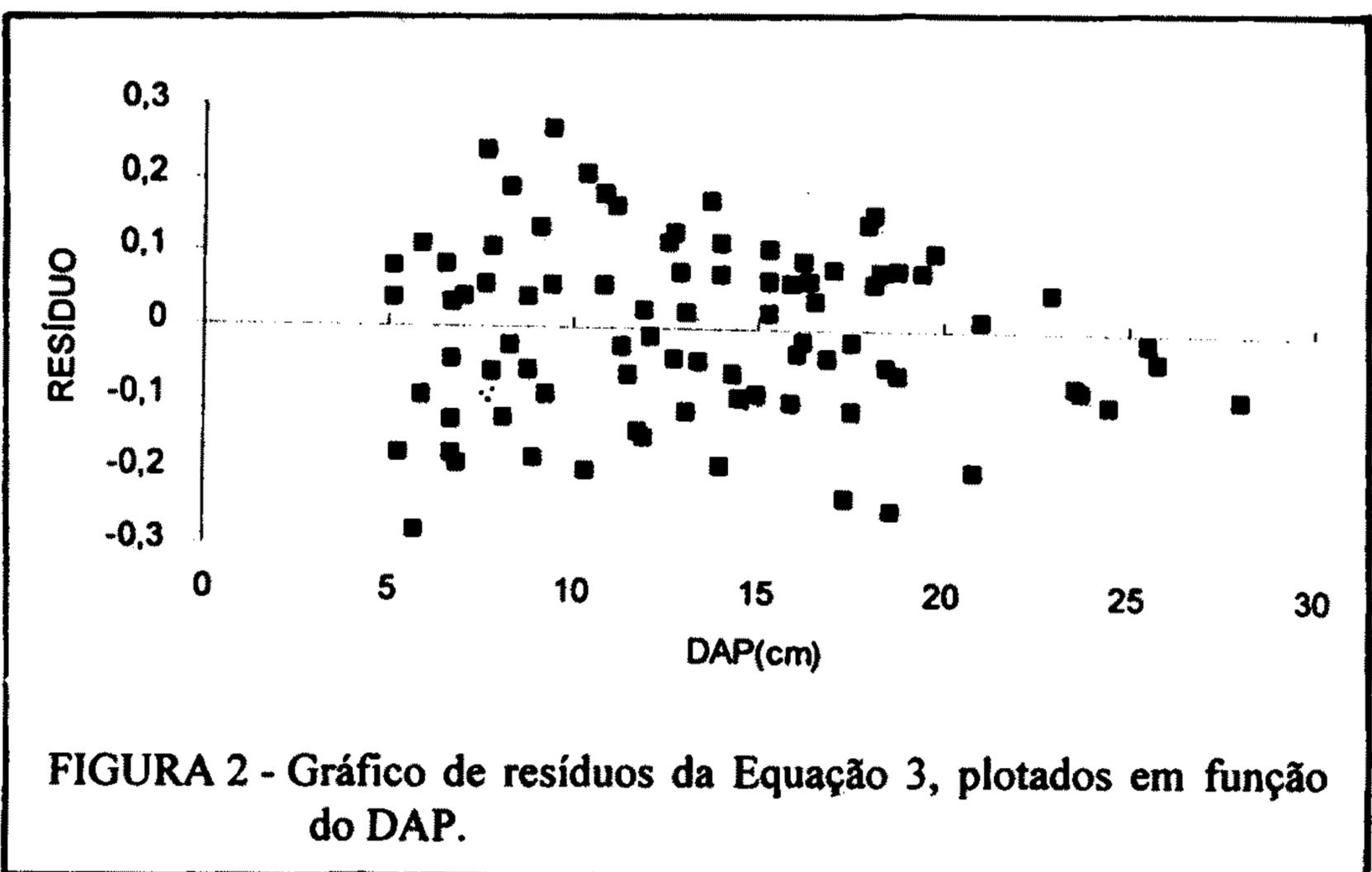
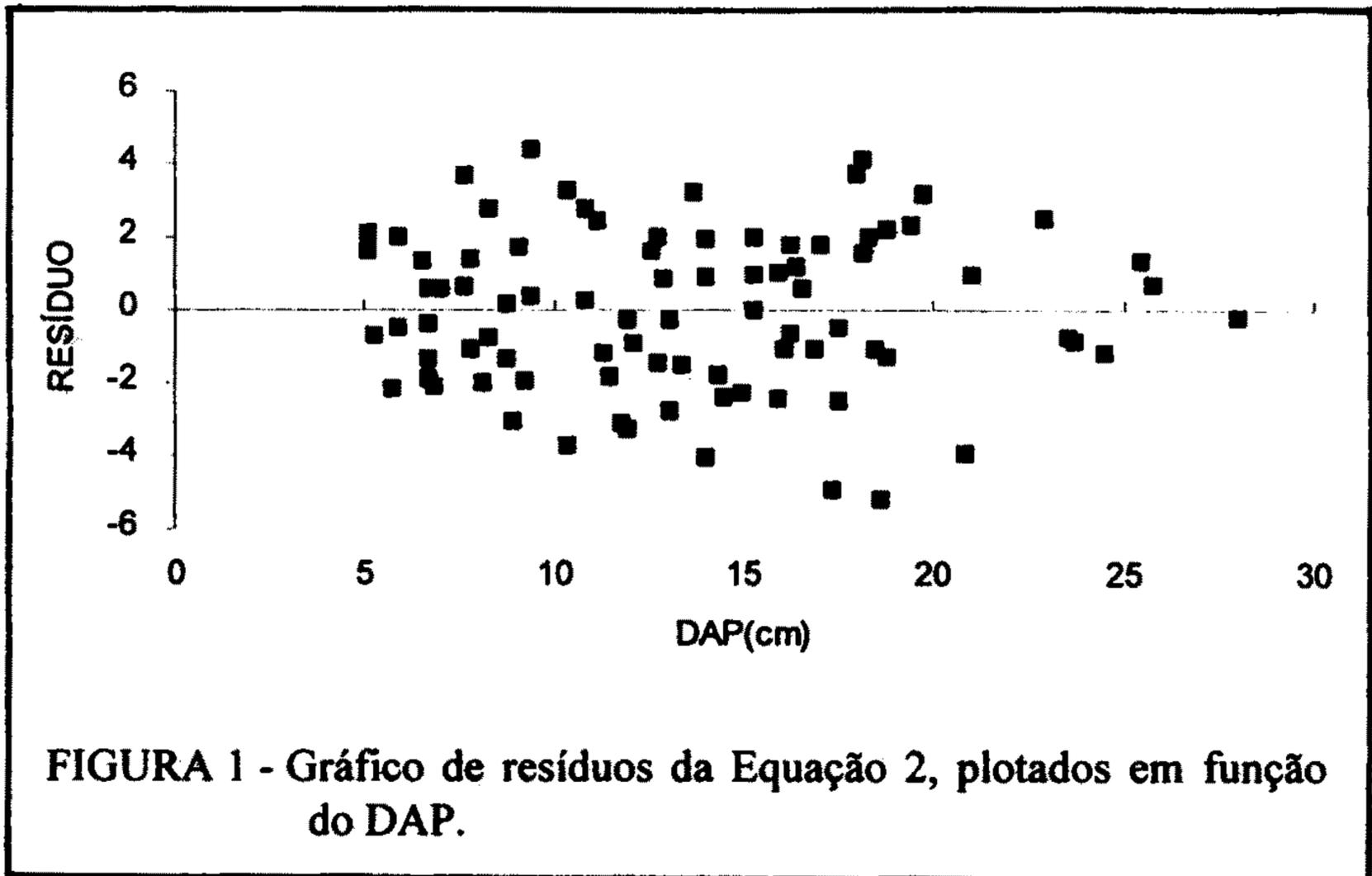
Comparando, no Quadro 1, as medidas de precisão das equações de mesma natureza (Equações 1, 2 e 4), observa-se que a Equação 2 é aquela que apresenta o maior coeficiente de determinação (0,8277) e o menor coeficiente de variação (10,94%) e, por isso, foi escolhida como a melhor equação hipsométrica entre as três.

QUADRO 1 - Medidas de precisão das equações hipsométricas adotadas para a seleção

Equação	b_0	b_1	b_2	R^2	EPR	C.V.(%)
(1)	3,36266	1,62153	- 0,026174	0,8274	2,1644	11,01
(2)	-8,05457	11,0316	-	0,8277	2,1501	10,94
(3)	1,41657	0,606858	-	0,8279	0,118(2,1806)*	4,02(11,09)
(4)	29,7711	-113,798	-	0,7780	2,4407	12,42

*medidas de precisão calculadas em metros.

Ao se comparar a Equação 2 com a 3, que são de naturezas diferentes, pela análise gráfica dos resíduos (Figuras 1 a 6), verifica-se que a Equação 2 apresenta distribuição dos resíduos um pouco mais uniforme do que a Equação 3, sendo escolhida, portanto, a melhor equação hipsométrica para estimar a altura das árvores do povoamento.



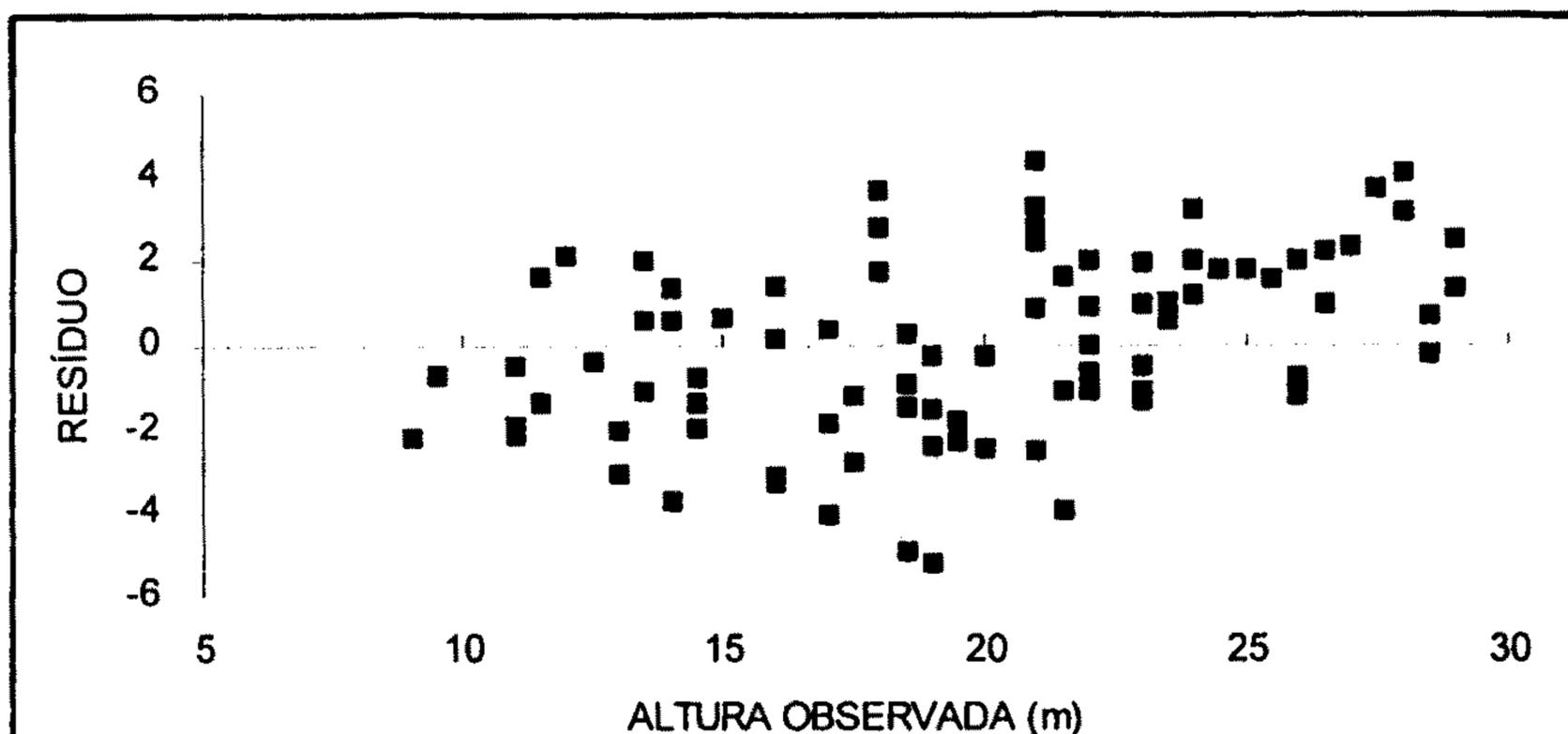


FIGURA 3 - Gráfico de resíduos da Equação 2, plotados em função da altura observada.

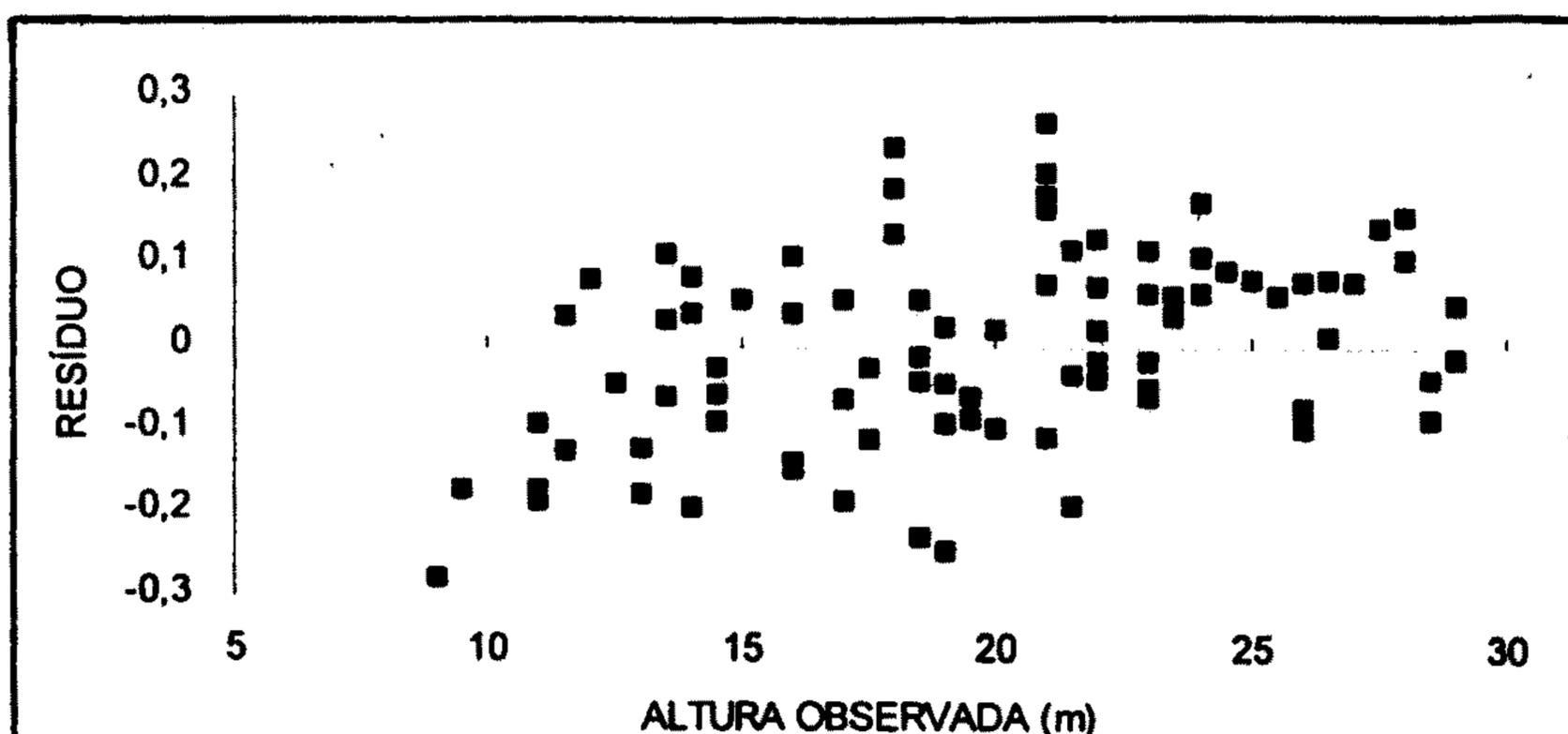
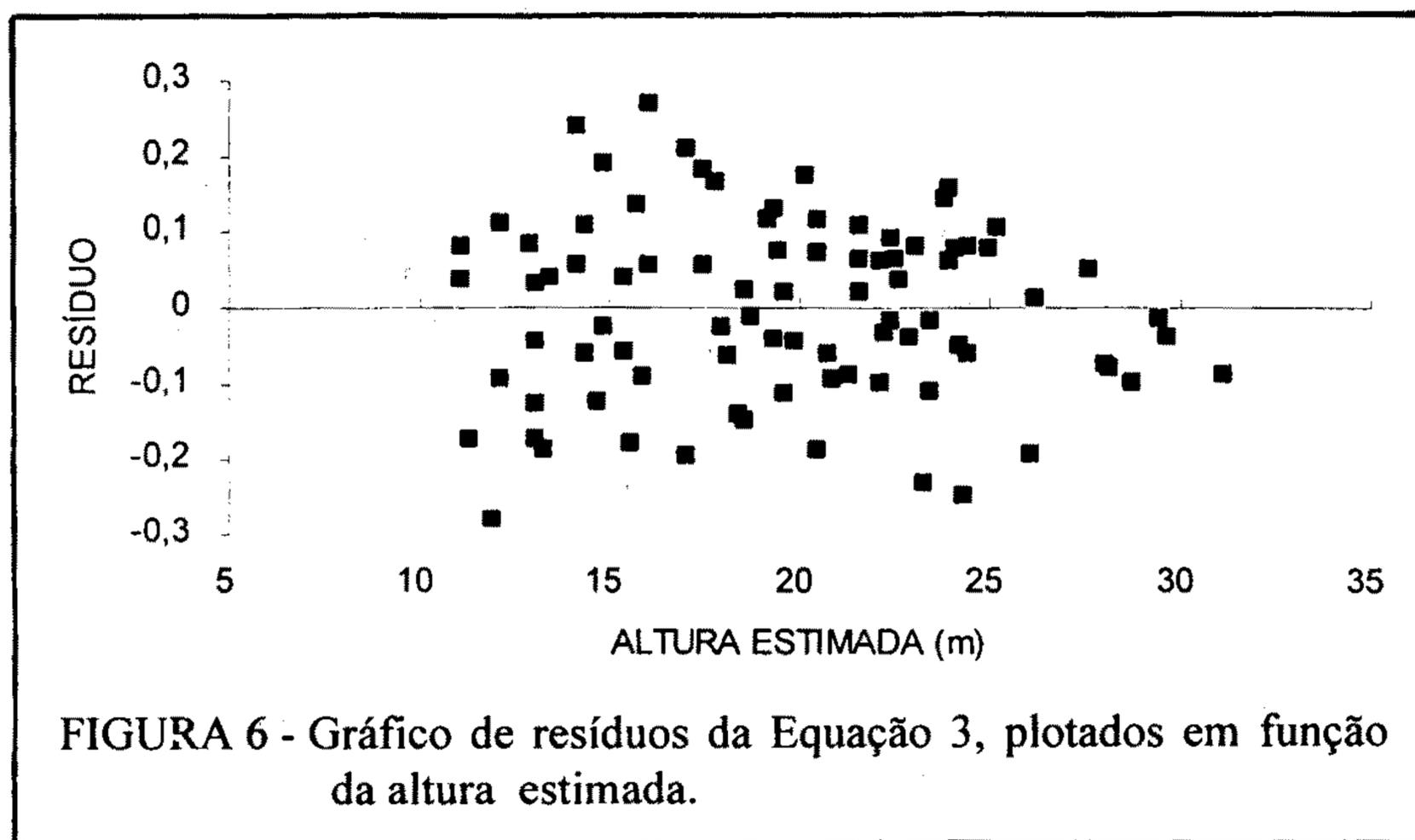
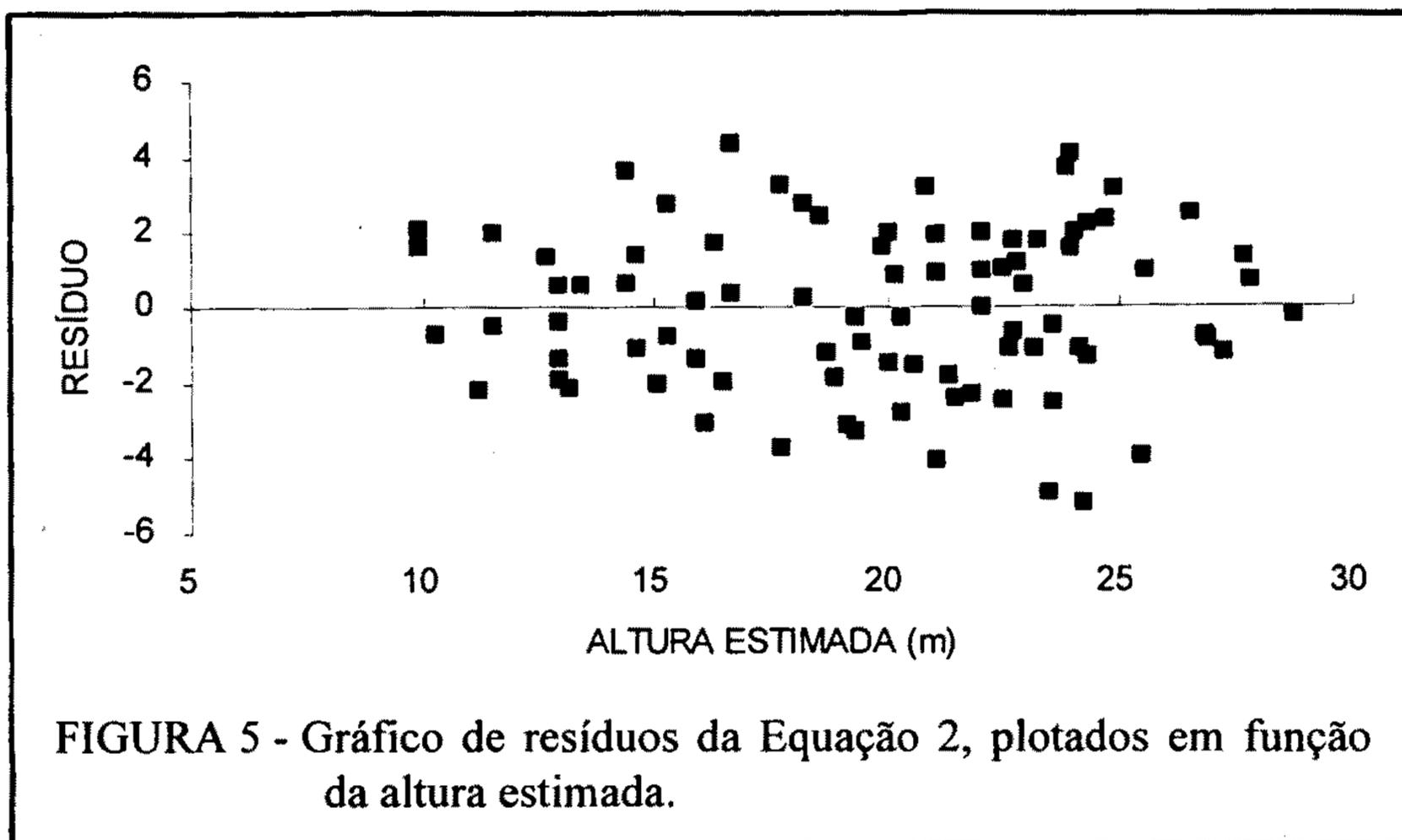


FIGURA 4 - Gráfico de resíduos da Equação 3, plotados em função da altura observada.

3.2. Definindo as Equações de Volume e da Biomassa

Uma vez escolhida a equação hipsométrica para estimar a altura das árvores das parcelas, redefiniram-se, então, as equações de volume e de biomassa.

Substituindo a equação hipsométrica selecionada nas equações de



volume e biomassa do tronco, estas ficaram assim redefinidas:

$$\text{LnV} = -10,9377 + 1,71873.\text{LnDAP} + 1,44525.\text{Ln}(-8,05457 + 11,0316.\text{LnDAP})$$

$$\text{PST} = \exp\{-5,59465 + 1,72399.\text{Ln}(-8,05457 + 11,0316.(\text{LnDAP}).\text{DAP})\}$$

$$\text{PSC} = \exp\{-6,66880 + 0,996512.\text{Ln}(-8,05457.\text{DAP}^2 + 11,0316.(\text{LnDAP}).\text{DAP}^2)\}$$

3.3. *Estimativas dos Volumes e da Biomassa*

QUADRO 2 - Totalização do volume e da biomassa do tronco por parcela no inventário-piloto e suas respectivas estatísticas

Parcela	Volume (m ³)	Biomassa (kg)
1 (80)*	11,69	6.393,99
2 (112)	12,85	6.897,45
3 (92)	7,44	3.905,38
4 (85)	10,87	5.897,89
5 (101)	14,78	8.064,17
6 (105)	13,43	7.248,46
Total	71,06	38.437,34
Média	11,84	6.406,22
Variância	6,5030	2052731,4801
Desvio	2,5501	1432,7356
C.V.(%)	21,53	22,36

* número de árvores por parcela.

Analisando o Quadro 2, verifica-se que, quanto ao coeficiente de variação, houve pequena diferença entre as estimativas de volume e biomassa. Na verdade existe uma estreita relação entre o volume e a biomassa do tronco, que justifica esse resultado, pois, nas Equações 6 e 7, a biomassa do tronco e da casca das árvores foram obtidas multiplicando-se o volume do tronco e da casca, obtidos na cubagem rigorosa, pelas suas respectivas densidades básicas.

3.4. *Cálculo do Tamanho da Amostra e da Intensidade Amostral*

Analisando o Quadro 3, observa-se que, tanto para volume quanto para biomassa, o tamanho da amostra foi praticamente o mesmo, ou seja, após o recálculo, corrigindo o valor de "t" para 23 e 24 graus de liberdade, obtiveram-se aproximadamente 17 e 18 unidades de amostra que deveriam ser lançadas para satisfazer à exigência da precisão de 10%, requerida no

QUADRO 3 - Tamanho da amostra (n) e intensidade amostral em um inventário para estimar biomassa e volume em um povoamento de *Eucalyptus grandis* no município de Viçosa, Minas Gerais

	Volume (m ³)	Biomassa (Kg)
t _{5%} (5g.l)	2,57	2,57
C.V.(%)	21,53	22,63
E(%)	10	10
N	100	100
n	23,44 ≈ 24	24,86 ≈ 25
recalculando	t _{5%} (23g.l) = 2,069	t _{5%} (24g.l) = 2,064
n	16,55 ≈ 17	17,55 ≈ 18
intensidade amostral	17%	18%

inventário de volume e biomassa do tronco das árvores. Assim sendo, a intensidade amostral será de 17% e 18%.

Pode-se concluir neste estudo que, em inventário com o objetivo de obter estimativas de volume e biomassa do tronco das árvores, a intensidade amostral é praticamente a mesma, sendo um pouco maior (1%) no inventário de biomassa do tronco.

4. RESUMO

O principal objetivo deste trabalho foi calcular o tamanho da amostra em um inventário volumétrico e de biomassa. Os dados para o presente estudo foram obtidos em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, com 77 meses de idade, no município de Viçosa, Minas Gerais. Antes da definição das equações de volume e biomassa, foi definida uma equação hipsométrica apropriada para este povoamento. A melhor equação foi selecionada com base no R², no S_{y.x} e na análise gráfica dos resíduos, definindo a homogeneidade da distribuição destes. A equação hipsométrica selecionada foi, então, utilizada para redefinir as equações de volume e biomassa. Após o cálculo do tamanho da amostra, constatou-se que seria necessário medir 17 parcelas de 500m² em um inventário de volume do tronco e 18 parcelas no inventário de biomassa para satisfazer à exigência de precisão de 10%. Em termos de intensidade amostral, seria necessário amostrar 17% e 18% da população para satisfazer à precisão requerida do inventário, isto é, mais 1% da população no inventário da biomassa do tronco.

5. SUMMARY

(SAMPLE SIZE DETERMINATION FOR A VOLUME AND BIOMASS INVENTORY OF STEMS)

This study was conducted to determine the size of a sample used in an inventory for volume and biomass production. The data were obtained from a 77 month old *Eucalyptus grandis* in Viçosa, Minas Gerais. Before defining the volume and biomass equations, an appropriate hipsometric equation was predicted. The best height-diameter equations were selected on the basis R^2 , $S_{y,x}$ and on graphical analysis of the residuals, by defining the homogeneity of the residual distribution. The applied height-diameter relationship was utilized to redefine the volume and biomass equations. After calculating the sample size, it was necessary to determine the sample size of 17 additional units for a trunk volume inventory and 18 sample units for the biomass inventory to satisfy the precision requirement of 10%. In terms of sampling intensity, 17 and 18% sampling units of the population would be necessary for volume and biomass precision, i.e., an additional 1% of the population for the biomass inventory of the stem.

6. LITERATURA CITADA

1. HUSCH, B; MILLER, C. I. & BEERS, J. W. *Forest mensuration*. 3ª ed. Malabar, Florida, Krieger Publishing Company, 1993. 402 p.
2. PAULA NETO, F. P. *Notas de aula de inventário florestal*. Viçosa, UFV. 1992. 46p.
3. SCHUMACHER, F. X. & HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. *Jour. Agric. Res.* 47:719-734. 1933.
4. SOARES, C. P. B. *Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de Eucalyptus grandis, na região de Viçosa, Minas Gerais*. Viçosa, MG, UFV, 1995. 85 p. (Tese de Mestrado).