

## INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DOS DADOS DE CUBAGEM RIGOROSA NA ESTIMAÇÃO DO VOLUME

**Erik Júnior Paulino<sup>1</sup>, Gilciano Saraiva Nogueira<sup>1</sup>, Jadir Vieira da Silva<sup>1</sup>, Robson José de Oliveira<sup>2</sup>, Márcio Leles Romarco de Oliveira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri / Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Rodovia MG 367, n. 5000 Alto do Jacuba – 39100-000 – Diamantina-MG, Tel: (38) 9818-2945, [erik.paulino@yahoo.com.br](mailto:erik.paulino@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Piauí / Departamento de Engenharia Florestal, Campus Universitário Professora Cinobelina Elvas - BR 135 Km 03 Bom Jesus, [robinhojo@yahoo.com.br](mailto:robinhojo@yahoo.com.br)

**Resumo-** Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da distribuição diamétrica das árvores-amostra obtidas na cubagem rigorosa de um clone de eucalipto no ajuste do modelo volumétrico de Schumacher & Hall, e assim identificar a distribuição diamétrica mais adequada para ajustar equações volumétricas que permitam gerar estimativas precisas e exatas. Foram utilizados dados de cubagem de povoamentos do clone 1270 pertencentes à Empresa PLANTAR S/A localizados no município de Curvelo MG. O trabalho iniciou-se com a distribuição das árvores cubadas em cinco grupos em função de seus diâmetros (dap): indivíduos pertencentes ao intervalo média dos dap's  $\pm 0,5$  desvio padrão, média  $\pm 1$  desvio padrão, média  $\pm 2$  desvios padrão, média  $\pm 3$  desvios padrão e cinco árvores por classe de dap. Em seguida foi ajustada uma equação de volume para cada grupo de árvores-amostra. Após os ajustes das equações foram feitas estimativas de volume por área em com cada equação gerada. A estimativa de volume gerada pela equação que utilizou todas as classes diamétricas foi comparada com as demais através do teste *t*. O teste indicou diferença significativa entre as estimativas.

**Palavras-chave:** Equação de volume, Volume individual, Povoamento clonal

**Área do Conhecimento:** Ciências Agrárias, Recursos Florestais e Engenharia Florestal

### Introdução

O inventário florestal é uma ferramenta fundamental no manejo de uma floresta. Através dele é possível obter informações sobre a quantidade e a qualidade dos recursos florestais e de muitas características das áreas sobre as quais as árvores estão crescendo (HUSCH et al., 1972). Para obter o estoque volumétrico de um povoamento florestal a técnica mais utilizada atualmente consiste na medição do volume de algumas árvores-amostra através da cubagem rigorosa e na estimativa do volume dos demais indivíduos dentro das parcelas amostradas através de modelos estatísticos ajustados através de regressão utilizando os dados da cubagem.

Segundo Couto (1984), as árvores cubadas devem ter um número fixo de indivíduos por classe diamétrica, pois se espera que as regressões que serão geradas tenham o mesmo nível de erro em todas as classes de diâmetros. Campos & Leite (2002) afirmam que a frequência dos dados de cubagem está diretamente relacionada com a variação em diâmetro e forma das árvores da população e as árvores-amostra devem abranger todas as classes de diâmetro a partir de um diâmetro mínimo especificado, de preferência uma mesma frequência por classe. Para ajuste de modelos volumétricos, se faz necessária a

cubagem de 50 a 100 árvores. Podendo-seubar até centenas de árvores, dependendo do tamanho da área (LOETSH, 1973, citado por THOMAS et al., 2006).

Partindo do pressuposto que os povoamentos clonais possuem uma grande homogeneidade fenotípica, a obtenção de indivíduos envolvendo todas as classes de diâmetro para o ajuste das equações volumétricas tornar-se-ia desnecessária. Então elaborou-se este trabalho com o objetivo de observar a influência da distribuição diamétrica das árvores-amostra obtidas na cubagem rigorosa de um clone de eucalipto no ajuste do modelo volumétrico de Schumacher & Hall, e assim identificar qual ajuste é mais adequado para gerar estimativas volumétricas precisas e exatas.

### Metodologia

Os dados utilizados no desenvolvimento deste estudo foram obtidos em talhões de eucalipto pertencentes à empresa PLANTAR S/A, no município de Curvelo no Estado de Minas Gerais situado nas coordenadas de 18°45'46" de latitude (S) e 44°25'46" de longitude (W) a 663m de altitude.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw com temperatura mínima

anual de 18°C e máxima de 22°C. A precipitação anual varia de 900 a 1300 mm (BRASIL, 1992).

Os inventários são provenientes de povoamentos do clone de eucalipto 1270@ pertencentes aos projetos Falcão e Lagoa do Capim que possuem áreas de 484,95 e 72,16 hectares, respectivamente.

Foram empregadas parcelas permanentes, com forma retangular, e tamanho médio de 600 m<sup>2</sup>, compreendendo sessenta árvores por parcela. No total foram medidas 98 parcelas no projeto Falcão e 15 parcelas no projeto Lagoa do Capim no ano de 2005. Em cada parcela mediu-se em todas as árvores a circunferência a 1,3 m de altura e, a altura das 10 primeiras árvores, além das alturas das cinco árvores dominantes de cada parcela. As alturas das demais árvores das parcelas foram estimadas por meio de equações hipsométricas obtidas no trabalho. Foram cubadas 60 árvores em todas as classes de diâmetro nos no projeto Lagoa do Capim e 56 árvores no projeto Falcão.

A partir dos dados de cubagem rigorosa calculou-se a média aritmética ( $\bar{dap}$ ) e as medidas de dispersão dos dap's das árvores-amostra e o volume individual através da fórmula de Smalian. Em seguida foram estabelecidos os seguintes grupos de árvores-amostra:

**Grupo 1** - Todas as árvores com dap pertencentes ao intervalo  $\bar{dap} \pm 0,5$  desvio-padrão

**Grupo 2** - Todas as árvores com dap pertencentes ao intervalo  $\bar{dap} \pm 1$  desvio-padrão

**Grupo 3** - Todas as árvores com dap pertencentes ao intervalo  $\bar{dap} \pm 2$  desvio-padrão

**Grupo 4** - Todas as árvores com dap pertencentes ao intervalo  $\bar{dap} \pm 3$  desvio-padrão

**Grupo 5** - Cinco árvores em cada classe de diâmetro utilizando todas as classes

Foram empregadas classes de diâmetro com amplitude de 2 cm. Cabe ressaltar que é recomendável três a sete árvores-amostra em cada classe de diâmetro quando o objetivo é gerar equações volumétricas precisas. Foram ajustadas equações de volume para cada grupo de árvores-amostra, totalizando cinco equações. Utilizou-se o modelo de Schumacher e Hall que é dado pela fórmula:

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln dap + \beta_2 \ln H_T + \epsilon$$

Em que: V= volume em m<sup>3</sup>;

Ln= logaritmo neperiano;

H<sub>T</sub>=altura total em m;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$  : parâmetros do modelo

Os ajustes foram analisados por meio do coeficiente de determinação ajustado ( $\bar{R}^2$ ) e da análise gráfica dos resíduos. O volume (m<sup>3</sup>/ha) por parcela foi calculado da seguinte forma:

$$V_i = \frac{10.000 \sum V_{ij}}{A_i}$$

Em que: V<sub>i</sub>= volume da i-ésima parcela em m<sup>3</sup>/há; V<sub>ij</sub>= volume da j-ésima árvore da parcela i;

A<sub>i</sub>= área da parcela i.

Ao todo foram realizadas 5 estimativas de volume em 113 parcelas (15 Lagoa capim + 98 Falcão). A equação ajustada do grupo 5 (todas as classes) foi tomada como referência devido ser constantemente indicada e utilizada no ajuste de modelos volumétricos e comparada com as demais equações.

Cada parcela recebeu mais de um tratamento (cinco equações) o que sugeriu a utilização do teste *t* para observações pareadas (VIEIRA, 1980). O teste *t* foi aplicado com um nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 5% e calculado os seguintes parâmetros:

$\bar{d}$  : média das diferenças dos *n* pares  $\bar{d} = \frac{\sum d}{n}$

S<sup>2</sup> : variância das diferenças  $S^2 = \frac{\sum d^2 - \frac{(\sum d)^2}{n}}{n-1}$

*t* : valor de *t* calculado  $t = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{S^2}{n}}}$

## Resultados

A seguir (Tabela 1) é apresentada uma análise individual dos diâmetros dos grupos de árvore-amostra e também da distribuição geral dos diâmetros (todas as árvores).

Para verificar a tendência de distribuição diamétrica de cada grupo, foram construídos gráficos de frequência dos dados (Figura 1).

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes das equações e o coeficiente de determinação ajustado ( $\bar{R}^2$ ) para estimativa do volume em cada grupo de árvores-amostra.

Na Figura 2 são apresentados gráficos correlacionando os dap's e os volumes observados de todas as árvores cubadas com os volumes estimados para cada grupo de árvores com as suas respectivas equações.

Tabela 1- Análise da distribuição diamétrica dos grupos de árvores-amostra

	Amplitude (cm)	S <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	S (cm)	CV (%)	$\bar{d}_{ap}$ (cm)
Grupo 1	12,73 – 16,55	1,08	1,04	7,09	14,62
Grupo 2	10,59 – 18,46	4,92	2,21	15,09	14,64
Grupo 3	7,35 - 22,05	11,52	3,39	22,9	14,79
Grupo 4	2,59 – 23,87	16,14	4,01	27,50	14,58
Grupo 5	2,59 – 23,87	29,55	5,43	37,94	14,31
Geral	2,59 – 23,87	16,14	4,01	27,50	14,58

Em que: S<sup>2</sup> - variância; S - desvio-padrão; CV - coeficiente de variação

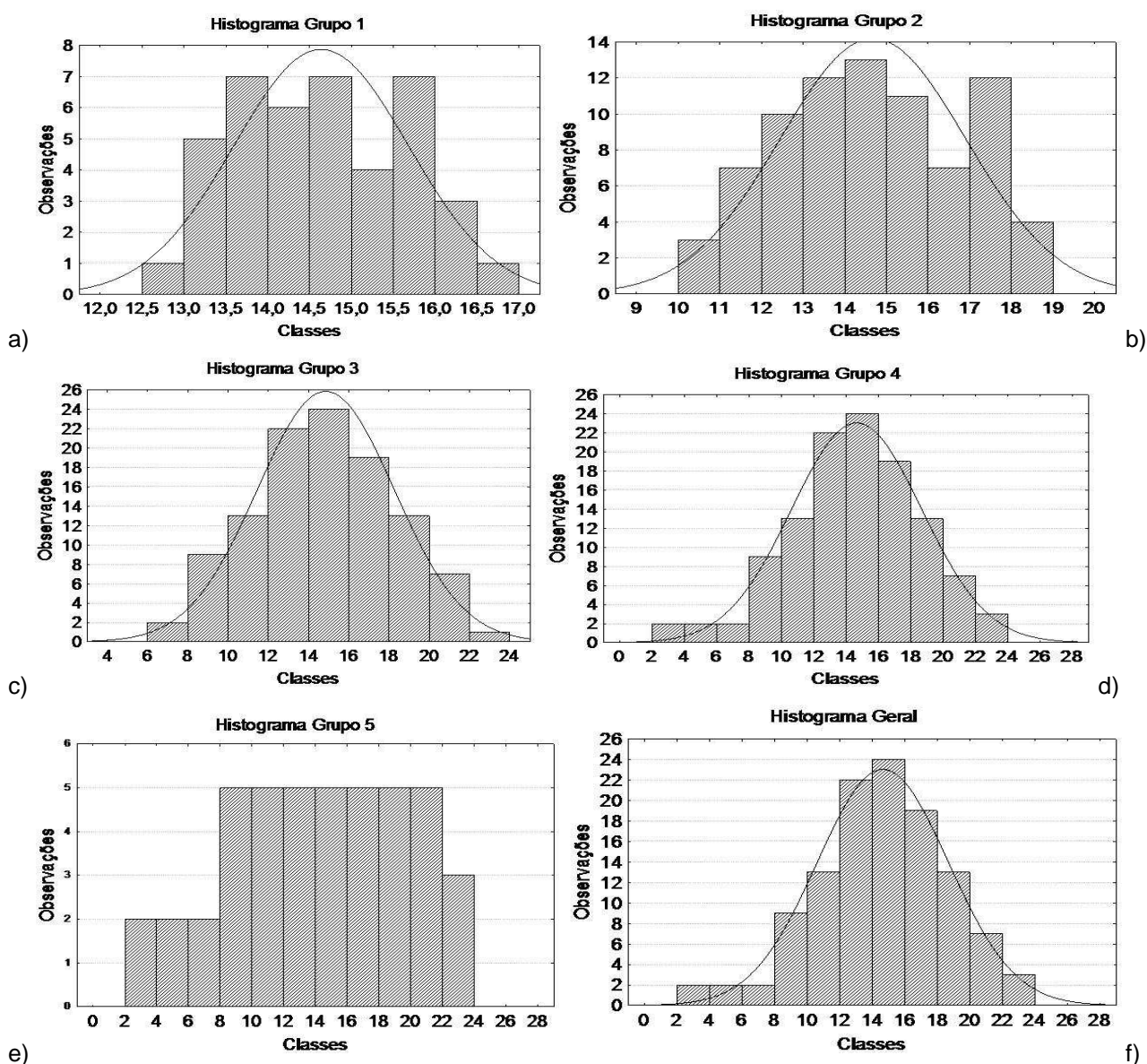


Figura 1- Histogramas dos Grupos 1-5

Tabela 2- Coeficientes das equações volumétricas para cada grupo de árvores-amostra

Grupos	Coeficientes			$\bar{R}^2$
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	
1	-10,2132	1,8592	1,1105	0,9795
2	-10,0439	1,7956	1,1109	0,9915
3	-9,9820	1,7196	1,1577	0,9943
4	-9,9436	1,7353	1,1306	0,9944
5	-10,0871	1,7127	1,1982	0,9950

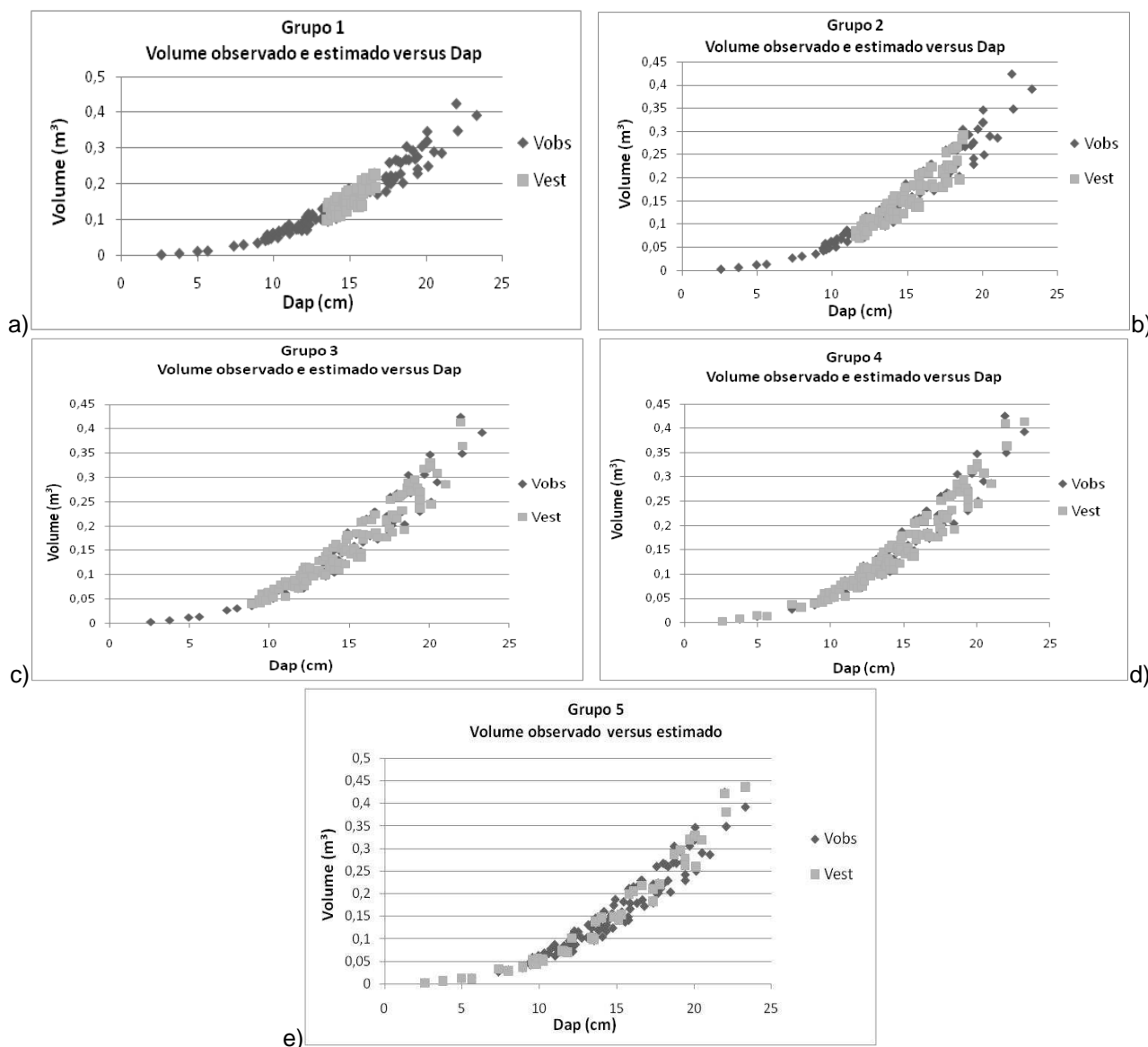


Figura 2- Volumes versus dap

A seguir são apresentados os resultados do inventário (Tabela 3) e as comparações pelo teste *t* do volume médio das parcelas estimado pela equação do grupo 5 com as estimações pelos demais grupos (Tabela 4).

Tabela 3 - Resultado do Inventário

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
$\bar{V}$ (m <sup>3</sup> /ha)	164,322	163,243	162,066	162,023	161,862
$S^2$	1946,549	1864,221	1830,641	1808,847	1871,794
$S_{\bar{V}}$	4,2	4,1	4,0	4,0	4,1
$E\%$	5,0	4,9	4,9	4,9	5,0
$V_{Total}$ (m <sup>3</sup> )	91545,65	90944,53	90288,87	90264,69	90175,16

Em que:  $\bar{V}$  - volume médio da população;  $S_{\bar{V}}$  - erro padrão da média;  $E\%$  - erro de amostragem;  $V_{Total}$  - volume total da população

Tabela 4 – Comparação do volume (m<sup>3</sup>/ha) das parcelas

	Volume (m <sup>3</sup> /ha)			T-calculado	T-tabelado	Resultado
	Média	Variância	Observações			
Grupo 5	161,862	1871,79	113			
Grupo 1	164,322	1946,55	113	-18,77	1,99	D.S.
Grupo 2	163,243	1864,22	113	-21,19	1,99	D.S.
Grupo 3	162,067	1830,64	113	-3,91	1,99	D.S.
Grupo 4	162,023	1808,85	113	-1,99	1,99	D.S.

Em que: D.S - diferença significativa

### Discussão

A Tabela 1 demonstra um aumento das medidas de dispersão ( $S^2$ ,  $S$ ,  $CV$ ) à medida em que a amplitude dos dap's torna-se mais abrangente dentro dos grupos. Isto ocorre devido ao aumento na heterogeneidade dos diâmetros.

Analisando os gráficos de distribuição diamétrica (Figura 1), fica evidente uma tendência à distribuição normal dos diâmetros em todos os grupos. Esta tendência cresce com o aumento da amplitude das classes de diâmetro.

Observando as cinco equações ajustadas (Tabela 2) percebe-se que houve um bom desempenho estatístico quanto aos valores de  $\bar{R}^2$ , o que demonstra um grau de ajuste satisfatório da variável dependente (volume) pelas variáveis independentes (dap e altura). Através dessa observação verifica-se a ocorrência do aumento no valor do coeficiente de determinação ajustado na medida em que as amplitudes dos diâmetros tornam-se maiores.

Os gráficos da Figura 2 permitem observar a tendência de variação do volume real e estimado em função do diâmetro. Os volumes estimados de cada grupo estudado foram sobrepostos aos

volumes reais para observar como a tendência das estimativas aproxima-se da observada. Pode-se observar que todas as estimativas volumétricas apresentam uma tendência próxima da real dentro de seu respectivo intervalo, o que indica precisão nas estimativas. As figuras também ilustram como os grupos diferem entre si através do número de classes utilizadas.

Os valores obtidos pelos coeficientes de determinação ajustados ( $\bar{R}^2$ ) e as análises gráficas permitem observar um melhor desempenho da equação que utilizou todas as classes de diâmetro, ou seja, a equação do grupo 5. Este resultado pode ser explicado pelo fato desta equação possuir o mesmo nível de erro em todas as classes, tendo um número fixo de árvores em todas elas, captando todas as variações do povoamento. Pode-se confirmar esta afirmação analisando a Figura 2-e.

Analisando a tabela 4, de acordo com o teste  $t$  para observações pareadas a um nível de 5% de probabilidade, ocorreu diferença significativa em todas as comparações. As equações dos grupos 1 à 4 superestimaram o volume médio das parcelas.

## Conclusão

De acordo com os resultados obtidos ocorre uma superestimação na estimativa do volume quando não se utiliza uma equação ajustada envolvendo todas as classes de diâmetro com número fixo de árvores. O teste *t* demonstrou que apesar dos povoamentos clonais apresentarem uma grande homogeneidade, mesmo assim não é conveniente utilizar algumas classes de diâmetro para inferir sobre o volume de toda a população.

## Referências

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas de 1961 - 1990. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação/Departamento Nacional de Meteorologia**, 1992. 84p.
- CAMPOS, João Carlos Chagas; LEITE, Helio Garcia. **Mensuração florestal: Perguntas e Respostas**. Viçosa: UFV, 2002. 407 p.
- COUTO, H. T. Z.,. Sistemas integrados de levantamentos florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE INVENTÁRIO FLORESTAL, 2, Piracicaba, 1984. Anais. Piracicaba, IPEF, 1984. p.121-7.
- HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 2.ed. New York: The Ronald Press Company, 1972. 410 p.
- THOMAS, C., ANDRADE, C., SCHNAIDER, P., FINGER, C., Comparações de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.003, 2006, p.319-327.
- VIEIRA, Sonia. **Introdução à bioestatística** - 3 ed. Revista e ampliada. Rio de Janeiro: Campus, 1980. 200 P.