

---

# MODELAGEM DO VOLUME DE CASCA DE *Pinus elliottii*, NO LITORAL NORTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA

---

JOSÉ ANTÔNIO ALEIXO DA SILVA  
Dr, Prof. Adjunto, DCFL - UFRPE  
SEBASTIÃO AMARAL MACHADO  
Dr, Pesquisador Visitante, DCF - UFLA  
RINALDO LUIZ CARACIOLO FERREIRA  
DR, Prof. Adjunto, DCFL - UFRPE  
ISABELLE MARIA JACQUELINE MEUNIER  
MESTRE, Prof. Assistente, DCFL - UFRPE

## RESUMO

O volume de casca da primeira tora da árvore foi usado como variável independente em modelos volumétricos para estimar o volume de casca de *Pinus elliottii*, no litoral norte de Santa Catarina. O modelo foi comparado com outros modelos volumétricos, entre os quais o da variável combinada (Spurr) e o de Schumacher e Hall. A equação que utiliza medidas de diâmetros com e sem casca na primeira tora foi selecionada como a mais eficiente, com base no índice de ajuste e erro padrão da estimativa.

**Palavras-chaves:** equações volumétricas, volume de casca, índice de ajuste.

## ABSTRACT

### MODELING BARK'S VOLUME OF *Pinus elliottii*, IN THE NORTH COASTAL PLAIN OF SANTA CATARINA

The bark volume of the first butt section was used as an independent variable in volumetric models to predict the bark's volume of *Pinus elliottii* in the north coastal plain of Santa Catarina. The proposed model was compared with other models including the combined variable (Spurr) and Schumacher and Hall. The equation that used diameter measurements with and without bark in the first butt was selected as the more efficient, based on the fit index and the standard error.

**Key-words:** volumetric equations, bark volume, fit index.

## INTRODUÇÃO

Em inventários florestais convencionais, as estimativas relativas ao volume de casca das árvores são geralmente consideradas de

importância secundária, tendo em vista que esta é descartada para efeito de transformação industrial da madeira. Entretanto, a comercialização de madeira para serraria se faz baseada nos volumes sem casca,

tornando necessário conhecer o volume a ser descontado das usuais estimativas de volume com casca.

Segundo FIGUEIREDO FILHO & BERNARDI (1993) a determinação do volume da casca é uma operação trabalhosa, o que gera a necessidade de se obter o volume de casca a partir da medição de variáveis fáceis de serem mensuradas no campo.

MEYER (1946), baseando-se apenas no conhecimento dos diâmetros à altura do peito (DAP), com e sem casca, desenvolveu uma metodologia para calcular o volume de casca, chegando a seguinte expressão:

$$Vc = Vcc \cdot (1 - K^2) \text{ ou } Vc\% = (1 - K^2) 100$$

em que, Vc = volume de casca; Vcc = volume total da árvore com casca; K = relação entre diâmetro sem casca sobre diâmetro com casca.

Como a maioria dos valores de K geralmente estão entre 0,87 e 0,93, significa dizer que o DAP sem casca corresponde a aproximadamente 87 a 93% do DAP com casca (MEYER, 1953). Tal metodologia foi utilizada com sucesso por alguns autores, STAYTON & HOFMAN (1969), MACHADO & ALBERTIN (1973), SCHENEIDER & SILVA (1979), MACHADO & ROCETÃO (1984).

LOESTSCH *et al.* (1973), citando pesquisas de vários outros autores, principalmente com espécies florestais da Europa, exemplificaram como o comportamento da espessura da casca, varia entre espécies e dentro da mesma árvore, mesmo em termos relativos da base para o topo. Para SCHREUDER *et al.* (1993), a espessura da casca varia de acordo com a espécie, a constituição genética, a condição de sítio, a idade, o tamanho, a taxa de crescimento e a posição ao longo do tronco, decrescendo mais ou menos regularmente da base para o topo da árvore. Em estudo realizado em reflorestamentos de *Eucalyptus* spp., PAULA NETO *et al.* (1991), encontraram que o volume de casca varia de acordo com a idade e o método de regeneração utilizado.

Estas fontes de variação fazem com que o fator de casca de Meyer (K) nem sempre seja constante ao longo do tronco, prejudicando assim o uso da fórmula desse autor para estimar volume de casca, baseado em medições de diâmetro com e sem casca na altura de 1,30 m (DAP).

O uso de modelos semelhantes aos de volume de madeira ou de peso de árvore e de seus componentes tem sido também utilizado para estimativas, tanto do volume como do peso da casca. PAULA NETO *et al.* (1992), com o objetivo de estimar o volume de casca para diferentes espécies de *Eucalyptus*, com diferentes idades, locais e métodos de regeneração, testaram seis modelos volumétricos, tendo como variáveis independentes, o diâmetro à altura do peito e a altura total da árvore. Após o ajuste, os autores recomendaram o uso do modelo de Spurr em sua forma não-linear.

NUNES (1981), tinha anteriormente estimado o volume de casca de *Eucalyptus*, na região de Caetés-MG e em outros locais por meio do uso de equações. Também como exemplo do uso de equações de peso seco da casca, pode-se citar a desenvolvida por CROW & ERDMAN (1983) para *Acer rubrum* na região dos grandes lagos nos Estados Unidos, cujo resultado encontrado foi:

$$\ln W = -4,404 + 0,801 \ln (d^2h)$$

em que W = peso seco da casca do fuste, em kg;

d = DAP, em cm;

h = altura total da árvore, em m.

Numa linha mais avançada de pesquisa, MAGUIRE & HANN (1990), trabalhando com "Douglas fir" no Sudoeste de Oregon, desenvolveram uma metodologia para estimar dupla espessura de casca à qualquer altura acima de 1,30 metros, baseada em funções de forma polinomiais segmentadas. As equações resultantes permitem também estimar diâmetro sem casca em função do diâmetro com casca, além de possibilitar a estimativa do volume e biomassa da casca.

SILVA *et al.* (1992) desenvolveram uma metodologia para estimar volume total da árvore em função do volume da primeira tora, sem a necessidade de mensurar a altura total da árvore, fonte de erro sistemático que diminui a precisão das equações geradoras das tabelas volumétricas. Como medidas de diâmetros até a altura do DAP são fáceis de serem obtidas no campo, pode-se aumentar o tamanho da amostra (número de árvores), diminuindo conseqüentemente o erro de amostragem. Tal metodologia tem sido usada com sucesso em diferentes espécies ( SILVA & BORDERS, 1993a; SILVA *et al.*, 1993b e c; LYNCH, 1995).

No presente trabalho, objetivou-se estimar o volume de casca de árvores de *Pinus elliotii* em função do medidas de diâmetros na primeira tora.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas 185 árvores de *Pinus elliotii* provenientes de plantações com 11 e 12 anos de idade, no litoral Norte de Santa Catarina, pertencentes a Conffloresta. O volume total, com e sem casca, de cada árvore, foi determinado pelo método de Smalian e o volume de casca (Vc) calculado pela diferença entre ambos. A distribuição das árvores por classe de diâmetro e altura se encontra no Quadro 1.

O volume da primeira tora usado como variável independente também foi calculado pelo método de Smalian por meio da seguinte fórmula:

$$VB_1 = 0,00003927(DT_1^2 + DAP_1^2)L$$

onde:

VB<sub>1</sub> = volume da base (primeira tora), podendo ser com ou sem casca; DT<sub>1</sub> = diâmetro do toco (0,1 m), podendo ser com ou sem casca; DAP<sub>1</sub> = diâmetro medido no topo da primeira tora (1,3 m), podendo ser com ou sem casca; L = comprimento da primeira tora (1,2 m).

Os seguintes modelos matemáticos lineares e não lineares usados por PAULA NETO *et al.* (1983) e FILHO & BERNARDI (1993), foram

testados:

1.  $V_{c_i} = b_0 + b_1 DAP_i^2 H_i + e_i$
2.  $V_{c_i} = b_0 + b_1 DAP_i^2 + b_2 DAP_i^2 H_i + e_i$
3.  $V_{c_i} = b_0 + b_1 DAP_i^2 + b_2 H_i + b_3 DAP_i^2 H_i + e_i$
4.  $V_{c_i} = b_0 + b_1 DAP_i^2 + b_2 H_i^2 + b_3 DAP_i^2 H_i + e_i$
5.  $V_{c_i} = b_0 (DAP_i^2 H_i)^{b_1} e_i$
6.  $V_{c_i} = b_0 DAP_i^{b_1} H_i^{b_2} e_i$

onde:

H = altura total da árvore

O modelo proposto por SILVA *et al.* (1992) foi testado nas seguintes formas:

$$7. V_{c_i} = b_0 + b_1 VB_i + e_i$$

$$8. V_{c_i} = b_0 + b_1 VC_i + e_i$$

onde VC<sub>b</sub> = volume de casca da primeira tora. e a fórmula de MEYER (1946), na seguinte forma:

$$Vc = Vcc(1-K^2)$$

O procedimento Stepwise (DRAPER & SMITH, 1981) também foi usado com a finalidade de escolher as melhores variáveis para compor um modelo linear múltiplo, bem como a transformação de Box e Cox visando a melhoria de ajuste da equação selecionada (BOX e COX, 1964; SILVA & BORDERS, 1993a). Tal transformação teve a seguinte forma:

$$Vc_i = [\lambda (\beta_0 + \beta_1 VB_i + \xi_i) + 1]^{(1/\lambda)}$$

A metodologia utilizada para seleção da melhor equação foi o Índice de Ajuste (IA) ou Proporção de Correlação e o erro padrão da estimativa (EPE) ( PAULA NETO, 1977; SCHALAEGL, 1981).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos para os coeficientes das equações, bem como os IAs e EPEs foram os que seguem:

$$1. \hat{V}_{c_i} = 0,01187750 + 0,00000496 DAP_i^2 H_i$$

IA = 0,681 ; EPE = 0,011758826 ; EPE% = 27,47

$$2. \hat{V}_{c_i} = -0,00017125 + 0,00012520 DAP_i^2 - 0,00000032 DAP_i^2 H_i$$

IA = 0,804 ; EPE = 0,009211406 ; EPE% = 21,52

Quadro 1. Distribuição das árvores por classes de diâmetro e altura.  
 Table 1. Trees distribution by class of diameter and height.

| CLASSES DAP's (cm) | CLASSES DE ALTURAS (m) |       |       |       |       |       | TOTAL |
|--------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                    | 08 10                  | 10 12 | 12 14 | 14 16 | 16 18 | 18 20 |       |
| 08 10              | 1                      | 1     |       |       |       |       | 2     |
| 10 12              |                        | 1     | 8     | 3     |       |       | 12    |
| 12 14              |                        |       | 2     | 11    | 3     |       | 16    |
| 14 16              |                        |       |       | 17    | 12    |       | 29    |
| 16 18              |                        |       |       | 10    | 21    | 2     | 33    |
| 18 20              |                        |       |       | 8     | 19    | 3     | 30    |
| 20 22              |                        |       |       |       | 20    | 4     | 24    |
| 22 24              |                        |       |       |       | 16    | 8     | 24    |
| 24 26              |                        |       |       | 1     | 5     | 5     | 11    |
| 26 28              |                        |       |       |       | 2     | 1     | 3     |
| 28 30              |                        |       |       |       |       | 1     | 1     |
| TOTAL              | 1                      | 2     | 10    | 50    | 98    | 24    | 185   |

3.  $\hat{V}_{Ci} = -0,02221114 + 0,00016834 DAP_i^2 + 0,00139487 H_i - 0,00000302 DAP_i^2 H_i$   
 IA = 0,807 ; EPE = 0,009135097 ; EPE% = 21,34

4.  $\hat{V}_{Ci} = -0,00433564 + 0,00015408 DAP_i^2 + 0,00001353 H_i^2 - 0,00000195 DAP_i^2 H_i$   
 IA = 0,804 ; EPE = 0,009204347 ; EPE% = 21,50

5.  $\hat{V}_{Ci} = 0,00008521 (DAP_i^2 H_i)^{0,71592554}$   
 IA = 0,722 ; EPE = 0,01098954 ; EPE% = 25,67

6.  $\hat{V}_{Ci} = 0,00013141 DAP_i^{1,99610849} H_i^{-0,03014673}$   
 IA = 0,806 ; EPE = 0,00921846 ; EPE% = 21,53

7.  $\hat{V}_{Ci} = -0,00158801 + 1,09663138 V_{bcc}$

IA = 0,791 ; EPE = 0,009511046 ; EPE% = 22,22  
 Vbcc = volume da primeira tora com casca

8.  $\hat{V}_{Ci} = -0,00911914 + 4,43939453 V_{Cb}$   
 IA = 0,802 ; EPE = 0,009263908 ; EPE% = 21,64  
 VCb = volume de casca da primeira tora

Logo após os ajustes das equações acima, aplicou-se o procedimento Stepwise usando todas variáveis independentes consideradas. O resultado foi o que segue:

9.  $\hat{V}_{Ci} = -0,0192498 - 0,0043017 DT_{cc} + 0,0036001 DT_{sc} + 0,0065652 DAP_{cc} - 0,0041261 DAP_{sc} + 3,1817637 V_{Cb}$   
 IA = 0,873 ; EPE = 0,007402702 ; EPE% = 17,61

Aplicando-se a transformação de BOX e COX

(1964) ao modelo composto pelas variáveis selecionadas pelo Stepwise, obteve-se:

$$10. \hat{V}_{Ci} = (0,0367556 + 0,0254655 DT_{cc} - 0,0216491 DT_{sc} + 0,0486005 DAP_{cc} - 0,0378555 DAP_{sc} - 8,0559081 VCb) (1/0,2824829)$$

IA= 0,884 ; EPE= 0,007071068 ; EPE%= 16,51

O intervalo de confiança para 1 foi:

0,2803793 £ 1 £ 0,2846200, que é significativo pois não inclui a unidade (1,0).

Considerando que  $VCb = Vbcc - Vbsc$

Onde:

$$Vbcc = 0,00003927(DT_{cc}^2 + DAP_{cc}^2)(1,2)$$

$$Vbsc = 0,00003927(DT_{sc}^2 + DAP_{sc}^2)(1,2)$$

$$\text{Tem-se, } VCb = 0,000047124 [(DT_{cc}^2 - DT_{sc}^2) + (DAP_{cc}^2 - DAP_{sc}^2)]$$

Substituindo VCb em 10, tem-se:

$$\hat{V}_{Ci} = \{0,0367556 + 0,0254655 DT_{cc} - 0,0216491 DT_{sc} + 0,0486005 DAP_{cc} - 0,0378555 DAP_{sc} - 0,000379624 [(DT_{cc}^2 - DT_{sc}^2) + (DAP_{cc}^2 - DAP_{sc}^2)]\}^{3,5400372}$$

sendo esta a melhor equação entre as estudadas para estimar o volume de casca.

Como esta equação resultante é composta de diâmetros em forma linear e quadrática, resolveu-se testar um modelo linear múltiplo composto dos diâmetros na forma quadrática. A equação resultante foi a seguinte:

$$11. \hat{V}_{Ci} = -0,0067187 + 0,0000538DT_{cc}^2 - 0,0000504DT_{sc}^2 + 0,0003115DAP_{cc}^2 - 0,000262DAP_{sc}^2$$

IA = 0,879 ; EPE= 0,007245688 ; EPE%= 16,92

A aplicação da transformação de BOX e COX (1964) ao modelo não resultou em ganho de

precisão. Apesar das estatísticas da equação 10 serem ligeiramente superiores, recomenda-se o uso da equação 11, considerando-se sua boa precisão e simplicidade.

Usando-se a fórmula proposta por Meyer, obteve-se valores de K entre 0,79 a 0,96 com um valor médio de 0,87, que proporcionou a estimativa do volume médio de casca de 0,0570549 m<sup>3</sup>. O volume médio real de casca por árvore foi de 0,0428061 m<sup>3</sup>. Portanto, o uso da fórmula de Meyer levou a uma superestimação do volume de casca na ordem de 33,28%. Assim sendo tal fórmula não foi eficiente no cálculo do volume de casca do presente estudo, observação semelhante as encontradas por NUNES (1981), PAULA NETO *et al.* (1983) e FIGUEIREDO FILHO E BERNADINI (1993).

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que os modelos comumente usados em volumetria não se ajustaram bem na estimativa do volume de casca, entretanto o uso de modelos compostos de medidas de diâmetros com e sem casca na primeira tora da árvore foram eficientes na estimativa do volume de casca de árvores, além de apresentarem a vantagem da não necessidade da variável altura da árvore.

## LITERATURA CITADA

- BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformation, *J. R. Stat. Soc. B.* 26:211-243, 1964.
- CROW, T. R. & ERDMAN, G. G. Weight and volume equation for red maple in the Lake State. Saint Paul; U.S. *Forest Service*, 1983. 14p. (Paper NC 142)
- DRAPER, N. & SMITH, H. Applied regression analysis, 2 ed. New York: John Wiley & Sons. 1981, 709 p.
- FIGUEIREDO FILHO, A. & BERNADINI, A. R. Comportamento da casca ao longo do tronco em plantios de *Pinus elliotti*

- estabelecidos no litoral e planalto do Estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, Curitiba, 1993, *Anais ...*, v.2, São Paulo: *Sociedade Brasileira da Silvicultura*, p. 495-498.
- LOETSCH, F.; ZOEHRER, F.; HALLER, K. E. Forest Inventory, Munchen: BLV. 1973, v.2, 469p.
- LYNCH, T. B. Use of a tree volume equation based on two lower-stem diameters to estimate forest volume from sample tree counts. *Can. J. For. Res.* 25(6):871-877, 1995.
- MACHADO, S. A.; ALBERTIN, W. Volume da casca e do toco afetado com sapopemas em um bosque secundário tropical. Turrialba, 23(4):429-431, 1973.
- MACHADO, S. A. & ROCETÃO, E. G. Determinação do volume da casca em plantações de *Pinus taeda*. *Rev. Floresta*, 15(1-2):17-25, 1984.
- MAGUIRE, D. A.; HANN, D. W. Bark thickness and bark volume in Southwestern Oregon douglas fir. *Western Jour. Appl. For.*, 5(1):5-8. 1990.
- MEYER, H. A. Bark volume determination in trees. *J. For.* 44(12):1067-1070, 1946.
- \_\_\_\_\_. Forest mensuration. Pennsylvania: *Penns Valley Publishers*, 1953, 357p.
- NUNES, J. R. S. Análise do volume e da porcentagem de casca em povoamentos de *Eucalyptus* de origem híbrida, segundo idade, local, espécie e método de regeneração. Viçosa: UFV. 1981, 103 p. *Dissertação* (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, 1981.
- PAULA NETO, F. Tabelas volumétricas com e sem casca para *Eucalyptus saligna*. *Rev. Árv.* 1(1):31-54, 1977.
- PAULA NETO, F.; CAMPOS, J. C. C.; RAMALHO, L. R.; ARAÚJO, J. C. Análise de estimativas do volume de casca de *Eucalyptus* spp. Na Região de Caetés-MG. *Silvicultura*, 8(28):670-673, 1983.
- PAULA NETO, F. de; NUNES, J. R. S. & CAMPOS, J. C. C. Análise do volume de casca de reflorestamento de *Eucalyptus* de diferentes idades e condições de local, espécie e método de regeneração. *Rev. Árv.* 5(1):55-65, 1991.
- PAULA NETO, F. de; NUNES, J. R. S.; VITAL, B. R. & SOUSA, A. L. Equações de volume de casca de *Eucalyptus* de diferentes idades e condições de local, espécie e método de regeneração. *Rev. Árv.* v.16, n.2, p.157-169, 1992.
- SCHLAEGEL, B. E. Testing, reporting, and using biomass estimation models. In: SOUTHERN FOREST BIOMASS WORKSHOP, 1981, Proceedings... s.1.:Clemson University, 1981, p.95-112
- SCHNEIDER, P. R. & SILVA, J. A. Teste de equações para prever a espessura de casca e o fator K para *Acacia Negra* (*Acacia mearsii* de Wild). *Rev. Floresta*, 10(2):5-11, 1979.
- SCHREUDER, H. T.; GREGOIRE, T. G. & WOOD, G. B. Sampling methods for multiresource forest inventory. New York: John Wiley & Sons, 1993. 446 p.
- SILVA, J. A. A.; BORDERS, B. E. & BRISTER, G. H. A tree volume equation based on two lower stem diameters for Caribbean Pine in Sri Lanka. *Commonw. For. Rev.* 7(12):114-116, 1992.
- SILVA, J. A. A. & BORDERS, B. E. A tree volume equation based on two lower

- stem diameters for Loblolly Pine in the Southeastern United States. *Southern J. Appl. For.* 17(4):160-162, 1993a.
- SILVA, J. A. A.; MEUNIER, I. M. J.; BORDERS, B. E.; FARIA, G. G. A.; ASSUNÇÃO, E. P. Equação volumétrica para *Eucalyptus camaldulensis*, na Região de Barbalha, Ceará, usando o volume da primeira tora como variável independente. *Rev. Árv.* 17(1):30-37, 1993b.
- SILVA, J. A. A.; MACHADO, S. A.; BORDERS, B. E. & BAILEY, R. L. Uma nova metodologia para construção de tabelas volumétricas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICA- NO, 1, Curitiba, 1993, *Anais ...*, v.2. São Paulo: Sociedade Brasileira da Silvicultura, 1993c, p. 557-559.
- STAYTON, C. L. & HOFFMAN, M. Estimating sugar maple bark thickness and volume. USDA, *Forest Service*, 1969. 8p. (Research Paper, NC 3