

EQUAÇÕES DE VOLUME PARA *Eucalyptus dunnii* Maiden, DETERMINADAS PARA A DEPRESSÃO CENTRAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

EQUATIONS FOR *Eucalyptus dunnii* Maiden VOLUME DETERMINATION ON THE CENTRAL DEPRESSION OF STATE RIO GRANDE DO SUL

Paulo Renato Schneider¹ Maria Cristina Bueno Coelho² Magda Lea Zanon²
César Augusto Guimarães Finger³ Jorge Euclides Mayer Klein⁴

RESUMO

O estudo foi realizado para definir equações de volume total com casca e comercial sem casca para *Eucalyptus dunnii* Maiden, na idade de 6,5 anos, implantado em espaçamento 3 x 2m. Foram cubadas, pelo método de Smalian, 80 árvores distribuídas em classe diamétrica e de forma proporcional em quatro hortos florestais. As equações de volume total com casca e comercial sem casca foram determinadas através do procedimento "stepwise" de regressão, de forma independente, para cada local e, posteriormente, foi estudada a possibilidade de agrupamento destas equações em um modelo único. A análise de covariância aplicada aos dados indicou a possibilidade do emprego de uma única equação para estimar o volume da espécie em toda a região. Selecionou-se pelo alto coeficiente de determinação e baixo erro padrão da estimativa a equação $\log v = -9,06566 + 0,93016 \cdot \log(d^2 h)$ para o volume total com casca e $\log v = -14,14078 + 1,39608 \cdot \log(d^2 h)$ para o volume comercial sem casca. Além disso, não observo-se diferenças na forma do tronco e por consequência no volume das árvores nos quatro locais estudados.

Palavras-chave: regressão, volume, *Eucalyptus dunnii*

SUMMARY

This study has been carried out to define total bulk volume equations for *Eucalyptus dunnii* Maiden, 6.5 years old, lined up along a 3 by 2 meter-spaced planted setting. These equations were supposed to both trees with and without bark.

Eighty trees were cubed by Smalian's method distributed according to diameter classes and following a proportional way, over four forest sites. Equations were determined through stepwise regression procedure, following an independent process for each site. A second step was evaluate the possibility of these equations to be reduced into a single one. The covariance analysis applied to data showed the possibility of using an unique one equation to estimate the tree bulk volume to the region. Two equations were selected: one to calculate the total volume of trees with bark and another to determine the commercial volume without bark. The equation to determine total volume was equal to: $\log v = -9.06566 + 0.93016 \cdot \log(d^2 h)$ and the equation to determine commercial volume was equal to: $\log v = -14.14078 + 1.39608 \cdot \log(d^2 h)$. Besides, no differences in the trunk shape and, consequently, in the bulk volume of trees in the four sites studied were observed.

Key words: regression, volume, *Eucalyptus dunnii*

INTRODUÇÃO

A espécie *Eucalyptus dunnii* Maiden é encontrada naturalmente em regiões de baixas altitudes e no fundo de vales em regiões de solos basálticos, e nas bordas de florestas tropicais na Austrália (FAO, 1979).

¹Engenheiro Florestal., Dr., Professor Titula, Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais(CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97119-900, Santa Maria - RS. Autor para correspondência.

²Engenheiro Florestal, Mestranda em Engenharia Florestal,UFSM.

³Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto, Departamento de Ciências Florestais, CCR, UFSM.

⁴Engenheiro Florestal da Riocell S.A .

A espécie foi recentemente introduzida no Brasil, respondendo bem ao crescimento em volume e altura, nas regiões onde ocorrem chuvas de verão bem distribuídas. Por esse motivo tem despertado especial atenção por parte das empresas de celulose, especialmente pela sua densidade o que traduz em maior rendimento no processo industrial. Outra vantagem da espécie é sua maior resistência ao frio.

Devido à inexistência de informações detalhadas de crescimento e produção de *Eucalyptus dunnii*, faz-se necessário desenvolver equações de volume, a fim de permitir a estimativa do volume total e comercial, indispensável para o planejamento da produção florestal. A cubagem possibilita a obtenção do volume sólido do tronco, que associado às variáveis dendrométricas diâmetro e altura permite gerar modelos de equações para descrever estes volumes, que podem, também, ser apresentados em forma de tabelas. Estas equações devem ser desenvolvidas para cada tipo ecológico, topografia do terreno, solo, etc., verificando-se, posteriormente, a possibilidade ou não de seu agrupamento em uma única, para representar a espécie (FINGER, 1992).

Segundo SCHNEIDER *et al.* (1988a), a escolha da melhor equação de volume deve ser isenta de critérios pessoais, devendo ser baseada nos valores calculados de coeficiente de determinação, erro padrão residual, distribuição uniforme dos valores residuais e índice de Furnival para equação logarítmica.

Na região de Ipatinga, Minas Gerais, PAULA NETO *et al.* (1977) selecionaram a equação expressa por

$$\ln v = 0,00005271 + 1,73183 \ln d + 0,12182 \ln h$$

para descrever a relação entre o volume (v) e o diâmetro à altura do peito (d) e a altura total (h) de *Eucalyptus paniculata* Sm., a qual apresentou um coeficiente de determinação de 0,9833 e erro padrão da estimativa de 0,0514 logaritmo do volume. A equação foi obtida após o teste de Qui-quadrado indicar não existir diferença entre as equações de duas tabelas de volume possibilitando assim o agrupamento das mesmas. CAMPOS *et al.* (1985) fizeram a seleção do melhor modelo baseada nas medidas de precisão obtidas para todas as equações volumétricas testadas e na análise gráfica dos respectivos valores residuais. O modelo de Schumacher & Hall, expresso por:

$$\ln v = \ln b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$$

foi considerado o mais apropriado, tanto em termos de precisão como pelo ajuste obtido. O emprego do fator de ponderação $1/(d^2h)$, mostrou ser o mais eficiente em reduzir o efeito da heterogeneidade de variâncias em equações aritméticas.

Em estudos para a escolha de modelos de equações de volume e relação hipsométrica para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo, BASTOS & COUTO (1987) determinaram que o modelo que melhor se ajustou aos dados de volume para celulose foi o da variável combinada de Spurr. Este modelo, expresso por

$$v = b_0 + b_1 \cdot d^2h$$

mostrou que o tronco das árvores para produção de celulose tem a forma de um parabolóide, o que é explicado na equação pelo termo d^2h .

Nos estudos de produção para o manejo de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, para a região de Guaíba-RS, através de uma análise estatística dos modelos de regressão, SCHNEIDER *et al.* (1988a) selecionaram o modelo

$$v = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot dh + b_4 \cdot d^2h + b_5 \cdot h$$

por ser o que melhor se ajustou aos dados em toda a distribuição, eliminando a tendência das estimativas nas maiores e menores classes de diâmetro.

Este trabalho teve como objetivo definir equações para estimar o volume total com casca e comercial sem casca e verificar a influência de diferentes locais sobre o volume dos troncos de *Eucalyptus dunnii* Maiden na idade de corte.

MATERIAIS E MÉTODOS

As árvores de *Eucalyptus dunnii* Maiden amostradas apresentavam idade de 6,5 anos, oriundas de áreas planas com espaçamento 3,0 x 2,0m, permitindo um espaço vital inicial de 6m² por planta, resultando no plantio 1.666 árvores por ha. O plantio foi feito manualmente, utilizando-se de mudas produzidas em tubetes plásticos. Amostras foram coletadas nos hortos florestais: Camélia, Conde, Lech e Mangueira II, localizados nos municípios de Barra do Ribeiro, Tapes, São Jerônimo e Arroio dos Ratos, respectivamente.

Estas áreas de estudo localizam-se, aproximadamente, a 300 20' de latitude sul. Os hortos florestais encontram-se nas regiões fisiográficas da Depressão Central e Encosta Inferior do Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Segundo a classificação climática de Köppen, nas regiões onde estão localizados os hortos florestais, predomina o tipo climático "Cfa", subtropical úmido, com uma temperatura média das máximas oscilando em torno de 25°C e a média das mínimas em torno de 15°C. A temperatura média anual é de 19°C, com uma precipitação média de, aproximadamente, 1.322mm anuais (MORENO, 1961).

O solo encontrado na região do estudo é variável, sendo classificado nas unidades de mapeamento: Vacacaí, Guaíba, São Jerônimo, Pinheiro Machado, Camaquã, Pelotas, Alto das Canas, Bom Jesus e Rio Pardo. Predominantemente, são solos de textura arenosa com baixa fertilidade e pH baixo (LEMOS *et al.*, 1973).

As árvores amostras foram cubadas segundo o método de "Smalian", distribuídas por classes de diâmetros a partir de 4,0cm, de forma a cobrir a distribuição de diâmetro das árvores do povoamento. O número de indivíduos por classe de diâmetro foi fixo, assim como para os locais, para permitir o estudo da possibilidade de agrupamento dos dados dos hortos florestais.

As árvores amostradas foram abatidas, identificadas e medidas conforme fichas especiais, que contêm o número do talhão, idade, espécie, data de medição e número de equipe de trabalho e altura aproveitável. As medições dos diâmetros com casca e espessuras da casca foram tomadas nas posições 0,10 m, 0,30 m, 1,30m e após de 2,2 em 2,2m, até a altura total da árvore de acordo com o método de Smalian apresentado por SCHNEIDER *et al.*, (1988 b).

A altura comercial ou aproveitável foi definida para cada árvore na posição do fuste onde o diâmetro com casca fosse igual a 7,0cm. A marcação das posições ao longo do fuste foi realizada com o auxílio de uma trena, sendo os diâmetros com e espessura de casca, medidos com uma fita métrica e régua, respectivamente. Para cada árvore cubada foi determinado o volume total com casca e o volume comercial sem casca, até o diâmetro de 7,0cm com casca.

As equações de volume foram estudadas através do procedimento "Stepwise" de regressão do pacote "SAS". Os modelos máximo testados foram expressos por equações lineares e logarítmicas como segue:

$$v = f(d, h, d^2, h^2, dh, d^2h, 1/d, 1/d^2, 1/h, 1/dh) e,$$

$\ln v = f(\ln d, \ln h, \ln d^2, \ln h^2, \ln(dh), \ln(d^2h), \ln(1/d), \ln(1/d^2), \ln(1/h), \ln(1/dh))$. Onde v é o volume em m^3 , d é o diâmetro à altura do peito em centímetro e h é a altura total em metros.

Após a obtenção do modelo de regressão geral e para os diversos hortos florestais, foi estudada a viabilidade de desenvolver um modelo único para

descrever o volume total com casca e comercial sem casca para todos os povoamentos. Para isso, foi estudado o paralelismo e a coincidência das curvas de regressão através da análise de covariância do modelo geral, com o uso de variável "dummy", definida pela presença (1) ou ausência (0) dos dados dos hortos florestais ou locais, respectivos. A seleção entre uma das equações obtidas na modelagem, foi feita através do erro padrão da estimativa (Syx), índice de Furnival (IF), coeficiente de determinação (R^2) e valor de F.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A modelagem através do procedimento "stepwise" de regressão das equações de volume total com casca e comercial sem casca, definiu equações com apenas uma variável independente ($d^2 \cdot h$), mostradas na Tabela 1. A adição de mais uma variável independente no modelo inicial não resultou em aumento de precisão das equações para um nível de 1% de probabilidade e em nível de tolerância de F de 0,0001.

Tabela 1 - Equação de volume total com casca e comercial sem casca para *Eucalyptus dunnii*, para a Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, 1996.

Modelo No	Equação	Syx	IF	R^2	F
1	$\log vt = -9,06566 + 0,93016 \cdot \log(d^2 \cdot h)$	-	0,0382	0,91	846,1
2	$vt = 0,01471 + 0,00003 \cdot (d^2 \cdot h)$	0,0387	-	0,93	1162,8
3	$\log vc = -14,14078 + 1,39608 \cdot \log(d^2 \cdot h)$	-	0,0019	0,95	1.787,2
4	$vc = -0,01832 + 0,00002 \cdot (d^2 \cdot h)$	0,0148	-	0,98	6.152,0

Sendo: Syx o erro padrão da estimativa, IF o índice de Furnival, R^2 o coeficiente de determinação, F o valor de significância, log o logaritmo decimal, vt o volume total com casca, vc o volume comercial sem casca, d o diâmetro a altura do peito e h a altura total.

Os modelos de regressão do volume total com casca e comercial sem casca, tanto na forma logarítmica como aritmética, foram expressos pela variável combinada d^2h , confirmando o modelo de volume proposto por "Spurr".

Analisando-se os resultados estatísticos das equações de volume total com casca da Tabela 1, observa-se que o modelo (1) logarítmico, apresentou um índice de Furnival semelhante ao erro padrão da estimativa do modelo (2) aritmético, indicando a possibilidade de obter estimativas de volume com erro semelhante. Por outro lado, o coeficiente de determinação foi menor no modelo aritmético do que no logarítmico. Devido a isto, o modelo logarítmico foi

escolhido para uso corrente na determinação do volume total com casca da espécie.

Da mesma forma, os resultados das equações de volume comercial sem casca na Tabela 1, modelos 3 e 4, mostram que o índice de Furnival da equação logarítmica foi inferior ao erro padrão da estimativa da equação aritmética, demonstrando ser esta mais precisa, embora o coeficiente de determinação tivesse sido ligeiramente inferior, mas com bom ajuste. Por outro lado, como no caso anterior, o modelo logarítmico resultou uma distribuição mais uniforme dos valores residuais, sendo portanto, o modelo recomendado para uso corrente.

Através da análise de covariância, com variável "dummy", definida pelos hortos florestais, foi estudada a possibilidade de agrupamento dos dados dos volumes das árvores dos quatro hortos considerados: Camélia, Conde, Lech e Mangueira II. Na Tabela 2 encontram-se os resultados da análise de covariância, onde observa-se que para os dados dos hortos florestais considerados, o valor de F foi igual a 1,64, ou seja, não significativo. Isto demonstrou que os dados dos hortos florestais podem ser agrupados e expressos por uma única equação de volume, indicando que os locais estudados não produzem alteração na forma de tronco das árvores da espécie. Assim, foi possível definir para as regiões, independente do horto florestal ou local, uma equação única para estimar o volume total com casca e comercial sem casca, sendo esta expressa para volume total com casca por $\log v = -9,06566 + 0,93016 \cdot \log(d^2h)$ e para volume comercial sem casca por $\log v = -14,14078 + 1,3960854 \cdot \log(d^2h)$.

Tabela 2 - Análise de covariância do volume para os hortos florestais estudados, para a Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, 1996.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Modelo	4	63,76	15,94	215,49	0,0001
Grupo	3	0,3636	0,1212	1,64	0,1876
Variável (d ² h)	1	62,6844	62,6844	847,34	0,0001
Erro	75	62,6844	0,0739		
Total	79	69,31			

Sendo: GL o grau de liberdade, SQ a soma dos quadrados, QM o quadrado médio, F o valor de significância, Prob a probabilidade, d o diâmetro a altura do peito e h a altura total.

CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos no presente trabalho permitem concluir que:

A modelagem, tanto de volume total com casca como comercial sem casca, confirmou a equação logarítmica de "Spurr" como a mais apropriada para estimar o volume da espécie; a análise de covariância demonstrou que uma única equação pode ser utilizada para estimar o volume de povoamentos de toda a região estudada, devido aos locais de coleta dos dados não terem provocado mudança significativa na forma de tronco, em consequência no volume das árvores; e o volume total com casca e comercial sem casca podem ser estimados respectivamente pelas equações:

$$\log v = -9,06566 + 0,93016 \cdot \log(d^2h)$$

e

$$\log v = -14,14078 + 1,3960854 \cdot \log(d^2h).$$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASTOS, N.L.M., COUTO, H. T. Z. **Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo.** Piracicaba: IPEF, 1987. 77 p.
- FAO. **Eucalyptus for planting.** Roma: 1979. 677 p.
- LEMOS, R.C., AZOLIN, M.A.D., ABRAO, P.V.R., *et al.* **Levantamento e reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul.** Recife: Ministério da Agricultura - Divisão de Pesquisa Pedológica, 1973. 431 p. (Boletim Técnico n. 30).
- CAMPOS J.C.C., TREVIZOL JÚNIOR T.L., PAULA NETO F. **Ainda sobre a seleção de equações de volume.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 2, n. 9, p. 115-126, 1985.
- FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: UFSM/FATEC/ CEPEF, 1992. 296 p.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 41 p.
- PAULA NETO F., BRANDI R.M., RIBEIRO J.C., *et al.* **Teste de aplicação de tabelas volumétricas para estimar a produção e plantações de *Eucalyptus paniculata* Sm. na região de Ipatinga, Minas Gerais.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 154-166. 1977.
- SCHNEIDER, P. R., FINGER C. A. G., KLEIN, J. E., *et al.* **Fundamentos de planejamento da produção para o manejo florestal de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith.** Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1988a. 179 p.
- SCHNEIDER, P.R., BRENA, D.A., FINGER, C.A.G. **Manual para a coleta de informações dendrométricas.** Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 1988b. 28p. (Série Técnica n. 8).