

MODELOS PARA A PREDIÇÃO DE VOLUMES DO PINHEIRO BRAVO NA REGIÃO DE CASTELO BRANCO

Cristina Maria Martins Alegria ⁽¹⁾



1. Modelos para a Predição de Volumes da Árvore

O volume da árvore e consequentemente o volume dos povoamentos são variáveis cujo conhecimento é vital para a comercialização do lenho da árvore. O preço de venda da madeira de pinheiro bravo varia consoante o destino da sua utilização e o local de venda. A título ilustrativo os preços médios anuais praticados no ano de 2004 podem ser consultados na tabela 1.

TABELA 1. Preços de venda da madeira de pinheiro bravo - média anual de 2004 (SICOP, 2004)

Destino	Venda em pé (euros / m ³ com casca)	Venda no carregadouro (euros / m ³ com casca)
Serração	37.72	39.15
Trituração	16.45	17.43
Postes/Esteios	37.81	51.06
Energia	19.72	

Porém, o volume da árvore é uma variável cuja determinação por medições directas é difícil. Assim, na prática do dia-a-dia, esta variável é estimada recorrendo à aplicação de modelos de predição de volumes. Os volumes da árvore individual podem

assim, ser obtidos recorrendo a diversos tipos de equações: de volume clássicas, de volume percentual e de perfil de tronco. Estes modelos permitem simular os volumes da árvore a partir da medição de variáveis expeditas e de recolha pouco dispendiosa, como sejam o diâmetro e a altura da árvore.

As equações de volume clássicas são equações de regressão que relacionam um volume específico, em geral o volume total com casca ou sem casca, com variáveis como o diâmetro à altura do peito (1.30 m do solo) e a altura total da árvore (v.g. Loetsch *et al.*, 1973; Husch *et al.*, 1982; Avery e Burkhart, 1983).

As equações de volume percentual (v.g. Burkhart, 1977; Cao *et al.*, 1980; Deusen, 1981; Clutter *et al.*, 1983) são equações de regressão que vão relacionar as percentagens do volume total (com casca ou sem casca) abaixo de diversos limites de desponta com variáveis como o diâmetro à altura do peito (1.30m do solo), a altura total da árvore e os respectivos limites de desponta (com casca ou sem casca), i.e. diâmetros de desponta (com casca ou sem casca) ou alturas de desponta medidas a partir do solo. Não obstante, a aplicação deste tipo de equações pressupõe à priori a existência de uma equação de

volume para a predição do volume total da árvore. Isto é, a equação de volume percentual necessita ter associada implicitamente uma equação de volume gerando assim, um sistema de equações (Clutter *et al.*, 1983).

Uma equação de perfil do tronco expressa a relação entre um diâmetro a um determinado nível do tronco da árvore (com casca ou sem casca) como função da altura a partir do solo até ao respectivo nível do tronco, do diâmetro à altura do peito e da altura total da árvore (Clutter *et al.*, 1983). As equações de perfil do tronco permitem obter uma informação mais desagregada dos volumes parciais do tronco da árvore. São assim, ferramentas complementares dos sistemas de equações, equação de volume - equação de volume percentual, na predição dos volumes do tronco (Clutter *et al.*, 1983). Alegria (1993) ajustou diversos modelos de predição de volumes, para os povoamentos puros de pinheiro bravo da região de Castelo Branco, designadamente: uma equação de volume total com casca (EV), equações de volume percentual com casca em função do diâmetro da desponta (EVPd) e em função da altura da desponta (EVPh) e uma equação de perfil de tronco com casca (EPT) e ainda, uma equação de volume compatível com a EPT (EVC). Almeida (1998) ajustou uma equação de predição da altura total da árvore individual para os povoamentos puros de pinheiro bravo dos concelhos de Castelo Branco, Oleiros e Proença-a-Nova.

Estes modelos são ferramentas indispensáveis para apoiar a decisão no sentido de rentabilizar economicamente a venda da madeira de pinheiro bravo de acordo com as especificações comerciais para o destino industrial pretendido (Tabela 2).

1.2. Modelos de Predição de Volumes da Árvore para o Pinheiro Bravo na Região de Castelo Branco

• Dados

Os modelos de predição de volumes com casca que se dispõem para a espécie e região, foram ajustados a partir de dados recolhidos em 1987 e 1989, em diversos povoamentos de pinheiro bravo do distrito

de Castelo Branco, embora com maior incidência na zona do pinhal, onde ocorriam cortes culturais e de exploração (Alegria, 1993) e cujos locais de amostragem podem ser visualizados na figura 1.

Num total de 146 árvores abatidas (1588 observações), amostraram-se árvores com diâmetros com casca (*i.e.*, DAP com casca) compreendidos entre os 6.5 cm e os 47.6 cm e alturas totais compreendidas entre os 6.4 m e os 24.1 m. As toragens realizadas variaram desde toros de 2.0 m ou 2.1 m ou 2.2 m ou 2.5 m ou 2.6 m, com o cepo a 0.15 m ou variável entre 0.05 m e 1.1 m, e desponta a 7 cm ou variável consoante era praticada no local pelo empresário florestal. Todos os dados recolhidos foram obtidos medindo os diâmetros até aos mm e as alturas totais até aos dm. O cálculo dos volumes parciais e total (com casca) foi realizado usando a fórmula de Smalian para estimar o volume individual de cada toro, usando a fórmula do cilindro para avaliar o volume do cepo e usando a fórmula do cone para avaliar o volume da bicada (*v.g.* Avery & Burkhardt, 1983).

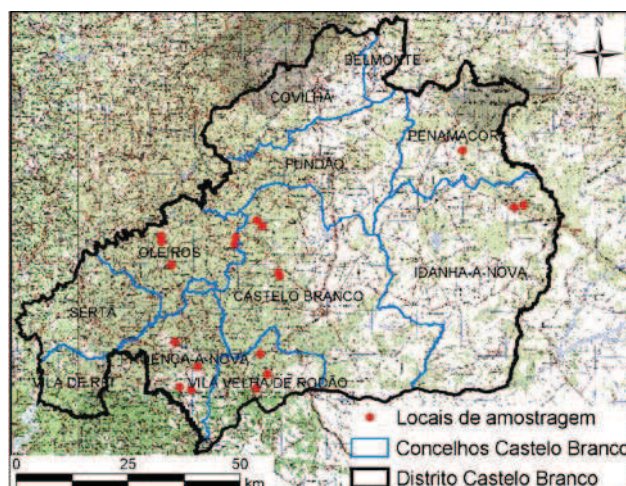


FIGURA 1. Locais de amostragem relativos ao abate de árvores em povoamentos puros de pinheiro em 1987 e 1989 no distrito de Castelo Branco

• Métodos

Os modelos foram ajustados por análise de regressão segundo o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS - ordinary least squares). Para a selecção dos melhores modelos, realizou-se um estudo pormenorizado de cada um dos modelos candidatos ajustados através

TABELA 2. Dimensão do diâmetro dos toros de acordo com o fim industrial (Oliveira, 1999)

Diâmetro do toro (cm)	Destinos/Utilizações
> 35 cm	Desenrolamento ou folha, aplicações em carpintaria e marcenaria
20 a 35 cm	Serração e produção de tabuado
14 a 20 cm	Serração e produção de tabuado para caixotaria
7 a 14 cm	Trituração, produção de aglomerados e pasta de papel
< 7 cm	Lenha, produção de achas para consumo industrial e familiar

da análise dos critérios para a determinação do seu desempenho, através do cálculo de diversas medidas de ajustamento dos modelos (R^2 - coeficiente de determinação da regressão; R^2AJ - coeficiente de determinação ajustado; QMR - quadrado médio dos resíduos), da análise da colinearidade dos modelos ($FIVM$ - factor de inflação da variância máximo) e da capacidade preditiva dos modelos (análise de resíduos dos modelos: resíduos tradicionais - autovalidação e resíduos $PRESS$ - validação independente) (v.g. Draper & Smith, 1981; Myers, 1986).

• Símbolos

Utilizou-se a simbologia proposta pela IUFRO (v.g. Soest *et al.*, 1965) utilizando-se letras minúsculas para as variáveis ao nível da árvore e letras maiúsculas correspondentes para as variáveis ao nível do povoamento. O significado das variáveis utilizadas nos modelos que se apresentam na tabela 2 é o seguinte:

d - DAP, diâmetro à altura do peito com casca (cm);
 d_h - diâmetro do tronco com casca (cm) a determinada altura do tronco;
 h - altura total (m);
 h_d - altura acima do solo (m) a determinado diâmetro com casca do tronco;
 v - volume total da árvore com casca (m^3);
 vh ou vd - volume com casca (m^3) desde o solo, respectivamente, até uma determinada altura ou diâmetro do tronco;
 rh ou rd - proporção do volume total da árvore abaixo, respectivamente, de uma determinada altura ou diâmetro do tronco.

• Modelos

Os modelos para a predição de volumes com casca ao nível da árvore individual ajustados para o pinheiro bravo na região de Castelo Branco encontram-se sintetizados na tabela 3.

TABELA 3. Modelos para a predição de volumes da árvore individual para o pinheiro bravo na região de Castelo Branco (Alegria, 1993; Alegria, s.d.)

<i>Modelos e estatísticas de ajustamento e predição</i>	
EV	$v = 0.004798 + 0.000036 d^2 h$ $R^2=0.992; QMR=0.2575; MAR=0.0245; n=146.$
EVPh	$rh = 1 + \left[-0.8084 \frac{(h - h_d)^{2.44923}}{h^{2.3744}} \right]$ $R^2=0.993; QMR=0.0008; MAR=0.0064; n=1164.$
EVPd	$rd = e^{-1.3923 \left(\frac{d_h}{d} \right)^{4.4379}}$ $R^2=0.954; QMR=0.0055; MAR=0.0160; n=1164.$
EPT	$d_h = d \left[2400.49 \left(\frac{1}{d^2 h} \right) \left(\frac{h - h_d}{h} \right)^{74.9701} + 1.112139 \left(\frac{h - h_d}{h} \right)^{1.40299} \right]^{0.5}$ $R^2=0.976; QMR=2.4750; MAR=1.0117; n=1164.$
EVC	$v = 0.002482 + 0.00003635 d^2 h$ $MAR=0.0235$

Legenda: EV - equação de volume; EVPh - equação de volume percentual em função da altura de desponta; EVPd - equação de volume percentual em função do diâmetro de desponta; EPT - equação de perfil do tronco; EVC - equação de volume compatível com EPT.

1.3. Modelo de Predição da Altura Total da Árvore para o Pinheiro Bravo na Região de Castelo Branco

Dados

É nos concelhos da extremidade ocidental do distrito de Castelo Branco que o pinheiro bravo domina. Assim, durante os anos de 1991 e 1994 foram instaladas 62 parcelas temporárias, circulares de área de 500 m², nos povoamentos puros de pinheiro bravo dos concelhos de Castelo Branco, Oleiros e Proença-a-Nova, segundo um esquema de amostragem sistemático com recurso à fotointerpretação por grelha de pontos da fotografia aérea relativa ao voo do Instituto Geográfico e Cadastral de 1989 à escala média de 1:15000. (Carvalho, 1992; Almeida, 1994). Na figura 2 podem ser visualizados os locais de amostragem relativos às 62 parcelas temporárias instaladas em 1991 e 1994.

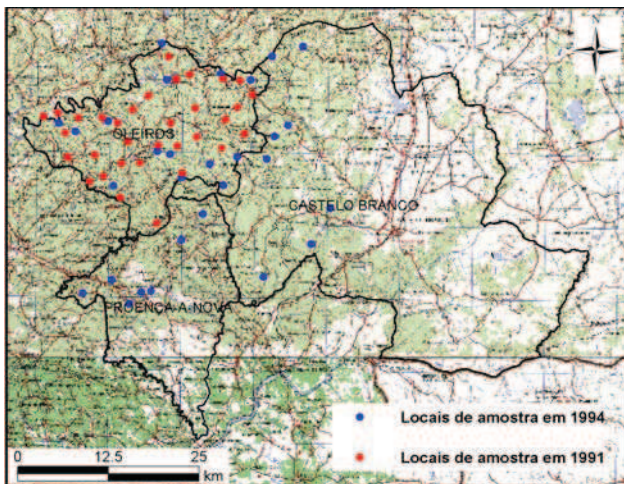


FIGURA 2. Locais de amostra relativos às 62 parcelas temporárias instaladas em povoamentos puros de pinheiro bravo nos concelhos de Oleiros, Proença-a-Nova e Castelo Branco em 1991 e 1994

Métodos

A metodologia utilizada para o ajustamento dos modelos candidatos ajustados e para a selecção do melhor modelo foi idêntica à anteriormente apresentada.

Simbologia

De igual modo se utilizou a simbologia anteriormente apresentada. O significado das variáveis utilizadas nos modelos que se apresentam na tabela 3 é o seguinte:

h - altura total (m);
hdom - altura dominante (m);
N - número de árvores por hectare; *d* - DAP (cm);
ddom - diâmetro dominante (cm).

Modelo

O modelo da altura total da árvore individual ajustados para o pinheiro bravo na região de Castelo Branco encontra-se sintetizado na tabela 4.

Finalmente, apresentam-se dois modelos que permitem simular o volume saído a corte apenas a partir da informação recolhida nos cepos deixados no terreno (tabela 5). Ou seja, um modelo para reconstituição dos *DAP* a partir dos diâmetros dos cepos medidos a 0.05 m do solo (*d*_{0.05}) (Almeida, 1994) e depois uma curva hipsométrica local que permite reconstituir as alturas totais individuais. Simuladas as variáveis das árvores abatidas extraídas do povoamento florestal, *DAP* e altura total, é possível prosseguir com a simulação do volume saído em corte.

2. Funcionalidade dos Modelos

Em termos práticos o uso dos modelos das tabelas 1 e 2 permitem estimar de forma expedita o volume

TABELA 4. Modelo para a predição da altura total da árvore individual para o pinheiro bravo na região de Castelo Branco (Almeida, 1998)

Modelo e estatísticas de ajustamento e predição	
CH Geral	$h = hdom \left(1 + \left(0.783629 - 0.158945 \frac{N}{1000} \right) hdom \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{ddom} \right) \right)^{-1}$
	$R^2=0.8592; R^2AJ=0.8590; QMR=2.09950; APRESS \text{ médio} =1.124518;$ $PRESS \text{ médio} =0.0755628; n=959.$

Legenda: CH - curva hipsométrica

TABELA 5. Modelos de reconstituição do DAP da árvore e para a predição da altura total da árvore individual para o pinheiro bravo na região de Castelo Branco (Almeida, 1998; Alegria, n.p.)

Modelo e estatísticas de ajustamento e predição

$$d = -3.14414 + 0.886784 d_{0.05}$$

$$R^2=0.96; QMR=2.2852; n=1275.$$

CH Local $h = 1.3 + 19.1636 \left(1 - e^{-0.0477 d} \right)$

$$R^2=0.6590; R^2_{AJ}=0.6566; QMR=4.5927; APRESS \text{ médio} = 1.6287; PRESS \text{ médio} = 4.6718; n=146.$$

Legenda: CH - curva hipsométrica

total com casca da árvore, assim como, desagregar este em volumes mercantis com casca segundo as especificações comerciais para a utilização da madeira, ou seja, altura de corte, comprimento dos toros e diâmetros mercantis com casca limites para o aproveitamento dos toros em função do destino industrial pretendido para a madeira.

Os procedimentos de cálculo encontram-se sintetizados nas figuras 3 e 4.

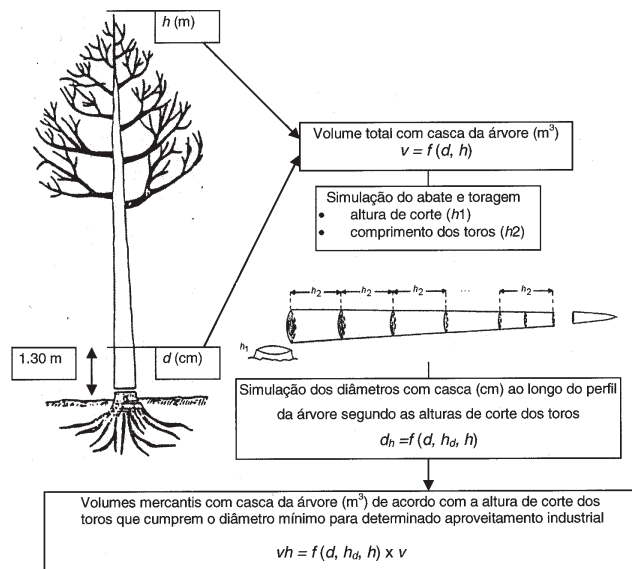


FIGURA 3. Simulação dos volumes total e mercantis com casca da árvore

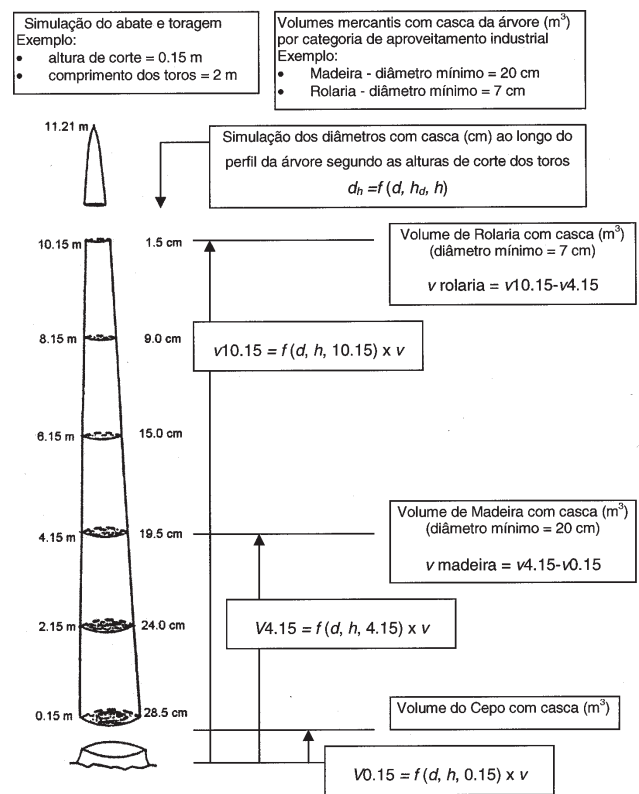


FIGURA 4. Simulação dos volumes mercantis com casca da árvore

Estes modelos permitem ainda estimar os volumes total e mercantis com casca ao nível do povoamento por somatório dos volumes das árvores que os constituem conforme se sintetizam os procedimentos na figura 5.

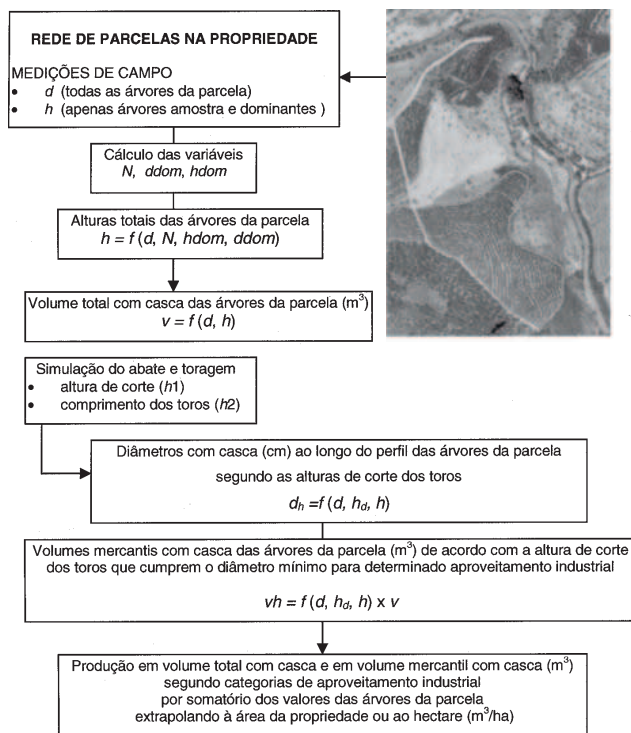


FIGURA 5. Simulação dos volumes total e mercantis com casca do povoamento

Referências Bibliográficas

Alegria, C. M. M. 1993. Predição do Volume Total, Volumes Mercantis, Perfil do Tronco e Sistemas de Equações Compatíveis para a *Pinus pinaster* Aiton no Distrito de Castelo Branco. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre. Curso de Mestrado em Produção Vegetal. ISA/UTL. Lisboa. 227 pp.

Alegria, C. M. M. 1994. Crescimento e Produção do Pinheiro Bravo na Região de Castelo Branco. *III Congresso Florestal. Os Recursos Florestais no Desenvolvimento Rural*. 15/16/17 Dezembro. Figueira da Foz: 269-292.

Almeida, A. M. M. 1994. Avaliação do Crescimento e da Produção em Povoamentos de Pinheiro Bravo nos Concelhos de Castelo Branco, Oleiros e Proença-a-Nova. Relatório do Trabalho de

Fim de Curso de Bacharelato em Engenharia de Produção Florestal. Instituto Politécnico de Castelo Branco. Escola Superior Agrária. Castelo Branco. 158 pp.

Almeida, A. M. M. 1998. Caracterização Dendrométrica de Povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton da Região de Castelo Branco. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Licenciatura em Engenharia Florestal. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 81 pp.

Avery, T. E. & Burkhardt, H. E. 1983. *Forest Measurements*. 3ª ed. McGraw-Hill Book Company. New York. 381 pp. + anexos.

Burkhardt, H. E. 1977. Cubic Foot Volume of Loblolly Pine to Any Merchantable Top Diameter. *So. J. Appl. For.* 1 (2): 7-9.

Cao, Q. V., H. E. Burkhardt & T. A. Max. 1980. Evaluation of Two Methods for Cubic Volume Prediction of Loblolly Pine to Any Merchantable Limit. *For. Sci.* 26: 71-80.

Carvalho, P. E. S. 1992. Estudos Dendrométricos em Povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton do Concelho de Oleiros. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Bacharelato em Engenharia de Produção Florestal. Instituto Politécnico de Castelo Branco. Escola Superior Agrária. Castelo Branco. 79 pp + anexos.

Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister & R. L. Bailey. 1983. *Timber Management. A Quantitative Approach*. John Wiley & Sons, New York. 307 pp. + anexos.

CNA. 1982. Atlas do Ambiente. Carta Administrativa. Instituto Geográfico e Cadastral. Comissão Nacional do Ambiente. Instituto Hidrográfico. Lisboa.

CNA. 1982. Atlas do Ambiente. Carta Hipsométrica. Comissão Nacional do Ambiente. Instituto Hidrográfico. Lisboa.

Deusen, P. C. V., A. D. Sullivan & T. G. Matney. 1981. A Prediction System for Cubic Foot Volume of Loblolly Pine Applicable through Much of Its Range. *So. J. Appl. For.* 5: 186-189.

Draper, N. R. & H. Smith. 1981. *Applied Regression Analysis*. 2ª ed. John Wiley & Sons, Inc., New York. 709 pp.

Husch, B., C. I. Miller & T.W. Beers. 1982. *Forest Mensuration*. John Wiley & Sons. 3ª ed. N.Y. 402 pp.

Loetsch, F. & K. E. Haller. 1973. *Forest Inventory*. Vol. I. BLV Verlagsgesellschaft mbH, Munchen. 436 pp. Book Company. New York. 381 pp. + anexos.

Myers, R. H. 1986. *Classical and Modern Regression With Applications*. 2ª ed. PWS-KEN Publishing Company, Boston. 359 pp.

Oliveira, A. M. C. 1999. *Boas Práticas Florestais para o Pinheiro Bravo*. Manual. Centro Pinus. Porto. 32 pp.

SICOP. 2004. *Sistemas de Informações e Cotações dos Produtos Florestais* (<http://cryptomeria.dgrf.min-agricultura.pt>).

Soest, J. van, P. Ayril, R. Schober & F. C. Hummel. 1965. *The Standardisation of Symbols in Forest Mensuration*. Univ. of Maine, Maine Agric. Expt. Stn., Tech. Bull. 15. 32 pp.