

Relações entre Peso, Volume e Densidade para a Madeira de Pinheiro Bravo (*Pinus pinaster* Ait.) Cultivado em Portugal

José Lousada*, Maria Noronha, Domingos Lopes*** e Maria Silva*****

*Investigador Auxiliar

**Engenheira Florestal

***Professor Auxiliar

CITAB/Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Departamento Florestal,
Quinta de Prados, 5001-801 VILA REAL

Sumário. É crescente a necessidade de efectuar uma estimativa credível da conversão do peso da madeira em volume e vice-versa. Este trabalho é baseado numa amostra de 30 árvores, com idades entre 13 e 54 anos, diâmetros de 7,5 a 35,7 cm e alturas totais de 3,5 a 22,2 m. Foram colhidas amostras de madeira a diferentes níveis do tronco nas quais se determinou o peso, o volume e a densidade, para mais tarde se estabelecerem as relações entre estas e construir tabelas de conversão entre peso/volume e volume/peso. Adicionalmente, foi avaliado o nível da árvore que propicia uma melhor estimativa da densidade global desta. O valor máximo encontrado para a densidade básica global por árvore foi de 0,469 g/cm³ e o mínimo de 0,364 g/cm³ com um coeficiente de variação de 6,7%. O melhor nível de amostragem para se estimar a densidade básica média da árvore situa-se aos 10% da altura total da árvore, seguido dos níveis 50 e 40%. O rigor com que se conseguiu fazer a correspondência entre peso e volume nesta espécie foi próximo de 99%, através de equações lineares simples. As melhores estimativas, quer de volume, quer de peso, obtêm-se com equações logarítmicas do diâmetro (r^2 entre 0,98 e 0,99).

Palavras-chave: Peso; volume; densidade; madeira; *Pinus pinaster*

Relationship Between Weight, Volume and Specific Gravity for the Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait.) Wood Grown in Portugal

Abstract. The need to get accurate conversions of the wood weight into volume, and vice-versa, is increasing. A sample of 30 trees, with ages varying between 13 to 54 years old, and with a dbh range between 7.5 and 35.7 cm and a total height varying from 3.5 m to 22.2 m, was used. Wood samples were collected at different percentage levels of the trunk, in which the weight, the volume and the density was evaluated to later establish relations between these variables and afterwards construct conversion tables between weight/volume and volume/weight. Additionally, the tree level which allowed the best estimation of the global density was evaluated. Achieved results showed that, for this species, basic density changes between a maximum of 0.469 g/cm³ and a minimum of 0.364 g/cm³ with a variation coefficient of 6.7%. The best trunk level to evaluate basic density was obtained when samples were collected at 10% of the total height, followed by the 50 and 40% levels. The accuracy of the equations describing

the relationships between weight and volume was around 99%, and simple linear equations were used. The best estimates, either for volume and weight, were obtained using dbh as a prediction variable, throughout logarithmic equations, presenting determination coefficients ranging between 0.98 and 0.99.

Key words: Weight; volume; specific gravity; wood; *Pinus pinaster*

Les Relations Parmi le Poids, le Volume et la Densité du Bois de Pin Maritime (*Pinus pinaster* Ait. Cultivé au Portugal

Résumé. Le besoin d'effectuer une évaluation crédible de conversion du poids du bois en volume et du volume en poids a augmenté. Ce travail est basé sur un échantillonnage de 30 arbres, âgés de 13 à 54 ans, 7.5 à 35.7 cm de diamètre et 3.5 à 22.2 m de hauteur total. Les rondelles ont été cueillies à différents niveaux du tronc pour lesquelles on a déterminé le poids, le volume et l'infradensité, afin d'établir plus tard des relations et faire des tableaux de conversion parmi poids/volume et volume/poids.

De plus, le niveau de l'arbre qui offre la meilleure évaluation de sa densité a été évalué. La valeur maximale de densité basique par arbre est 0.469 g/cm³ et le minimum est 0.364 g/cm³, avec un coefficient de variation de 6.7%. Le meilleur niveau de hauteur pour estimer l'infradensité moyenne de l'arbre se trouve à 10% de la hauteur totale de l'arbre, suivie des niveaux à 50 et 40%. La rigueur de la correspondance avec des équations linéaires simples entre le poids et le volume pour cette espèce a été d'approximativement 99%. Les meilleures évaluations soit du volume, soit du poids ont été obtenues avec les équations logarithmiques du diamètre (r² compris parmi 0.98 et 0.99).

Mots clés: Poids; volume; l'infradensité; bois; *Pinus pinaster*

Introdução

Portugal continental apresenta um património florestal extenso (cerca de 3,1 milhões de hectares, representando 36% do território nacional) e de indubitável importância económica, social e ecológica, sendo Portugal, segundo alguns estudos económicos recentes, considerado, no contexto da União Europeia e mesmo mundial, como um país "especializado nas actividades silvícolas". O peso destas actividades no produto interno bruto (PIB) é significativo, sendo inclusivamente superior à média europeia.

Destarte, os bens gerados nos espaços florestais são a base de uma importante e integrada fileira industrial assente em recursos naturais renováveis, sendo o suporte de um sector fortemente exportador, contribuindo para a manutenção de mais de 7 000 empresas, e garante de mais de 170 000 postos de trabalho.

De todas as espécies, a *Pinus pinaster* Ait., comumente designada por pinheiro bravo, é a mais representativa no território nacional. Os povoamentos em que esta espécie é dominante ocupam uma área muito significativa, cerca de 23% dos povoamentos florestais nacionais (IFN - 2005/06, DGF, 2007).

A sua importância reside não só na produção de madeira para diversos fins, desde construção civil e mobiliário maciço a aglomerados e celulose, bem como na produção de resina.

Usualmente, as transacções comerciais tanto entre os Produtores Florestais e Madeiros, como entre estes e as Indústrias, podem ser feitas quer em termos de peso como de volume. Todavia, à medida que a indústria florestal avança tecnologicamente num campo cada vez mais competitivo, o conhecimento de critérios de peso, volume e de qualidade

torna-se uma necessidade premente.

Por outro lado, o facto dos produtores florestais se encontrarem fisicamente distantes das suas explorações e de não dependerem delas economicamente, faz com que seja comum a venda do material lenhoso em pé, com a consequente dificuldade em o valorizar correctamente, traduzida quase sempre na perda, por parte dos produtores, das mais valias inerentes à realização do produto.

Debate-se então com a necessidade de efectuar uma estimativa credível da conversão do peso da madeira em volume e vice-versa, a qual não pode ter apenas por base o valor da densidade, dada a enorme variabilidade da humidade da madeira que irá afectar de forma diferente o peso e o volume.

Assim, justifica-se a realização deste trabalho na medida em que é importante valorizar a produção lenhosa da espécie *Pinus pinaster* e aprofundar o conhecimento das técnicas de intervenção silvícola e dos modelos de silvicultura desta espécie.

Com este trabalho pretende-se obter, com base em amostras de madeira colhidas a diferentes níveis do tronco e nas quais se determinou o peso, o volume e a densidade, as relações entre estas características e, com elas, construir tabelas de conversão entre peso/volume e volume/peso.

Adicionalmente, é avaliada a relação entre a densidade obtida ao nível de 1,3 m e a densidade global da árvore, bem como o nível da árvore que propicia uma melhor estimativa da densidade global desta.

Material e métodos

Seleção das árvores amostradas

Foram amostradas 30 árvores da espécie *Pinus pinaster* da região do Vale do Tâmega. As árvores abatidas foram seleccionadas ao acaso, com o único cuidado que a distribuição por classe de diâmetro fosse equitativa.

Procedimento de campo

Procedeu-se ao abate das árvores o mais perto possível da superfície do solo de modo a deixar no terreno apenas um pequeno cepo. Efectuou-se a desramante ao tronco. Seguidamente foi medida a altura total da árvore contabilizando o respectivo cepo. Foram identificados e marcados os pontos no tronco de cada árvore, em intervalos regulares de 10 em 10% da altura total, até aos 90%, na base (10 a 15 cm do solo) e a 1,3 m, sempre que este não correspondia a nenhum dos níveis.

À medida que o tronco da árvore era torado pelas marcações e pesado numa balança com a precisão de 0,5 Kg, era retirada da base de cada toro uma rodela, com aproximadamente 5 cm de espessura, e guardada imediatamente num saco de plástico preto, para protecção contra a luz e perdas de humidade durante o transporte até ao laboratório, como sugerido por ST. CLAIR (1993). Todos os sacos foram devidamente identificados.

O peso verde de cada árvore foi obtido pelo somatório do peso verde dos toros que a constituíam.

Procedimento de laboratório

A determinação do peso verde das rodela foi efectuada no dia seguinte ao trabalho de campo, de modo a evitar possíveis alterações de humidade. Para este efeito recorreu-se a uma balança electrónica com a precisão de 0,1 g.

Tendo em vista a determinação do volume verde das rodela, estas foram colocadas num recipiente com água durante um período de 24 horas. Ao fim deste tempo foi retirado o excesso de água das rodela através de uma passagem rápida em papel absorvente, procedendo-se de imediato à determinação do seu volume. O volume foi determinado pelo método da impulsão (HAYGREEN e BOWYER, 1982). Para tal colocou-se um recipiente com água destilada no prato de uma balança electrónica, mergulhou-se uma agulha, suportada exteriormente até 1 cm de profundidade e tareou-se a balança. Seguidamente, espetou-se a rodela na ponta da agulha e mergulhou-se na água, tendo o cuidado para que esta não tocasse no recipiente. O valor registado na balança será então o valor da impulsão exercida pela água na rodela de madeira, que é por sua vez igual a $\rho_{\text{água}} * v$ (onde $\rho_{\text{água}}$ é a densidade da água e v é o volume ocupado pela rodela). Como $\rho_{\text{água}} = 1\text{g/cm}^3$, a impulsão registada em gramas traduz o volume em centímetros cúbicos.

A determinação do peso seco das rodela foi efectuada depois destas terem sido colocadas numa estufa a $100 \pm 3^\circ\text{C}$ durante 5 dias, período necessário para a estabilização do peso e consequente obtenção da matéria-prima lenhosa no estado anidro. Após este tempo procedeu-se à sua pesagem, tendo para tal sido utilizada uma balança electrónica

com a precisão de 0,1 g.

A avaliação da densidade básica (Db) das rodela foi feita com base nos valores do peso seco e do volume saturado anteriormente determinados, segundo a seguinte expressão:

$$Db = \text{peso seco} / \text{volume verde (g/cm}^3\text{)}$$

A determinação do volume (verde) total das árvores foi feita recorrendo-se à aplicação de fórmulas empíricas, tendo sido contabilizadas para além da porção do tronco, também o cepo e a bicada. No caso do cepo o volume foi calculado como se tratasse de um cilindro. Para o cálculo do volume da bicada utilizou-se a fórmula do cone. Recorreu-se à fórmula de Smalian para o cálculo do volume dos toros dado ser esta a mais prática. O volume a que nos referimos ao longo do texto é volume sobre casca.

As fórmulas utilizadas foram as seguintes:

$$V_{\text{cepo}} = ds^2 * \pi * l / 40000$$

$$V_{\text{bicada}} = di^2 * \pi * l / 120000$$

$$V_{\text{toro}} = \pi * (di^2 + ds^2) l / 160000$$

Onde:

ds - diâmetro superior (cm)

di - diâmetro inferior (cm)

l - comprimento do toro (m)

V_{cepo} - volume do cepo (m³)

V_{bicada} - volume da bicada (m³)

V_{toro} - volume do toro (m³)

Assim, o volume total de cada árvore não é mais do que o somatório das partes constituintes.

Por fim procedeu-se à avaliação do peso seco total da árvore com base na seguinte expressão:

$$P_{\text{Storo}} = Db_{\text{rodela}} * V_{\text{toro}} * 1000$$

Em que:

P_{Storo} - Peso seco do toro (Kg)

Db_{rodela} - densidade básica da rodela (g/cm)

V_{toro} - volume do toro (m^3)

Desta forma o peso seco da árvore é então o somatório dos pesos dos toros que a constituem.

Métodos de análise estatística

Para o estudo das correlações existentes entre a densidade básica de cada nível de altura da árvore e a densidade global desta, recorreu-se à análise de regressão simples, em que os valores da densidade básica média da árvore são, em cada uma das regressões, a variável dependente e os valores da densidade básica de cada rodela a variável independente. Desta forma será possível encontrar o nível de altura no tronco cuja densidade básica melhor se correlaciona com a densidade básica global deste.

As inter-relações entre peso verde (Pv), peso seco (Ps), volume (V) e diâmetro (d) foram ajustadas com equações de regressão linear simples.

Igualmente a relação da variação do diâmetro com o volume foi ajustada através de uma equação do tipo $V = b_0 d^{b_1}$, dado este modelo expressar bem a relação entre as duas variáveis, e tendo esta expressão sido linearizada com logaritmos, tomando então a seguinte forma: $\log v = \log b_0 + b_1 \cdot \log d$. A variação do diâmetro com o peso verde foi ajustada através de uma equação do mesmo tipo, em que a variável dependente foi o peso verde e a independente o diâmetro.

Por fim ajustou-se uma equação linear múltipla que relacionasse o volume com o diâmetro e altura total da árvore ($V = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot ht$) e outra que relacionasse o peso verde com o diâmetro e a altura total da árvore ($Pv = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot ht$). Sendo no

primeiro caso o volume a variável dependente e o diâmetro e a altura total as variáveis independentes e no segundo caso o peso verde a variável dependente.

Construção de uma tabela de simples entrada que relaciona o diâmetro com o volume e outra o diâmetro com o peso verde

Com base nestas regressões procedeu-se à elaboração de uma tabela de simples entrada que relaciona o diâmetro com o volume e outra que relaciona o diâmetro com o peso verde. Estas tabelas são as menos exactas pois consideram que todas as árvores da mesma classe de diâmetro têm altura e forma idênticas. No entanto, têm a vantagem da rapidez e facilidade de elaboração e utilização. Nestas tabelas o volume vem expresso em metros cúbicos, o peso verde em toneladas e o diâmetro em centímetros.

Construção de tabelas de simples entrada de conversão de volume em peso e de peso em volume

Construiu-se também uma tabela de conversão de volume em peso verde e outra de peso verde em volume. Os valores apresentados nas tabelas foram obtidos através de equações de regressão linear simples que relacionam o peso verde com o volume, em que numa primeira equação o peso verde é a variável dependente e o volume a variável independente e na outra invertem-se os papéis passando a ser o volume a variável dependente e o peso verde a variável independente. Os valores de volume encontram-se em metros cúbicos e os de peso verde em toneladas por serem estas as unidades mais utilizadas nas transacções comerciais.

Por fim construiu-se uma tabela de

conversão de volume em peso seco e outra de peso seco em volume. Recorreu-se ao uso de equações lineares simples que relacionam estas duas variáveis. Numa primeira equação o peso seco é a variável dependente e o volume a variável independente e noutra equação o volume passa a ser a variável dependente e o peso seco a variável independente. Os valores de volume e de peso seco apresentados na tabela encontram-se em metros cúbicos e em toneladas respectivamente.

Resultados

Caracterização dos dados

No Quadro 1 são apresentados os dados da caracterização geral da amostra referentes às principais características dendrométricas analisadas. Determinou-se para cada uma destas os seguintes parâmetros: média, desvio padrão (s), coeficiente de variação em percentagem (cv), valor mínimo (mín.) e valor máximo (máx.).

Observa-se que o valor máximo encontrado para a densidade básica global por árvore é de 0,469 g/cm³ e o mínimo de 0,364 g/cm³. O coeficiente de variação é de 6,7%, podendo ser

considerado um valor baixo.

Em relação ao diâmetro e à altura total das árvores os coeficientes de variação são respectivamente 40,8% e 40,0%, valores estes relativamente altos que se explicam pelo facto das árvores amostradas cobrirem uma gama de idades e dimensões relativamente ampla (desde os 13 aos 54 anos). Este facto também se repercute nos valores elevados dos coeficientes de variação do volume, peso verde e peso seco. De facto, sendo a amostra bastante heterogénea quanto ao diâmetro e altura das árvores, esta heterogeneidade tem uma implicação directa nos parâmetros de peso e volume traduzida por coeficientes de variação compreendidos entre 91,2% e 97,2%, o que reflecte a abrangência da amostra.

Correlação entre a densidade global da árvore e a densidade aos vários níveis de altura no tronco

No Quadro 2 encontram-se as equações das análises de regressão linear e o respectivo coeficiente de determinação, nas quais a densidade básica média da árvore é estimada em função da densidade básica obtida em cada nível de altura no tronco.

Quadro 1 - Caracterização geral da amostra

Características	Média	s	Mín.	Máx.	cv (%)
d (cm)	20,5	8,3	7,5	35,7	40,8
ht (m)	11,8	4,7	3,5	22,2	40,0
pv (Kg)	219,4	200,1	8,3	742,7	91,2
ps (kg)	108,6	105,6	4,7	435,0	97,2
Db média (g/cm ³)	0,400	0,027	0,364	0,469	6,7
v (m ³)	0,274	0,255	0,014	0,952	92,9
idade	34,2	10,2	13	54	29,6

Quadro 2 - Equações das regressões entre a densidade básica média por árvore (expressa em grama por centímetro cúbico), com a obtida em cada um dos diferentes níveis de altura no tronco

Regressão Testada	Equação Obtida	r ²
Db árvore = f (Db aos 90%)	Db árvore = 0,348 + 0,138Db _{90%}	0,01
Db árvore = f (Db aos 80%)	Db árvore = 0,102 + 0,802 Db _{80%}	0,45
Db árvore = f (Db aos 70%)	Db árvore = 0,088 + 0,821 Db _{70%}	0,63
Db árvore = f (Db aos 60%)	Db árvore = 0,082 + 0,820 Db _{60%}	0,70
Db árvore = f (Db aos 50%)	Db árvore = 0,076 + 0,817 Db _{50%}	0,83
Db árvore = f (Db aos 40%)	Db árvore = 0,139 + 0,651 Db _{40%}	0,80
Db árvore = f (Db aos 30%)	Db árvore = 0,159 + 0,593 Db _{30%}	0,76
Db árvore = f (Db aos 20%)	Db árvore = 0,167 + 0,557 Db _{20%}	0,74
Db árvore = f (Db aos 10%)	Db árvore = 0,150 + 0,585 Db _{10%}	0,85
Db árvore = f (Db ao d)	Db árvore = 0,208 + 0,448 Db _d	0,57
Db árvore = f (Db na base)	Db árvore = 0,155 + 0,564 Db _{base}	0,64

Analisando este quadro constata-se que, para a espécie em estudo, a melhor estimativa para a densidade básica média da árvore é obtida através da amostragem ao nível dos 10% da altura total da árvore (Figura 1) logo seguida do nível de 50%, nas quais se obtêm coeficientes de determinação de 0,85 e 0,83, respectivamente. De sublinhar, também, o facto da densidade básica média da árvore não estar bem correlacionada com a densidade obtida nos níveis inferiores do tronco, não só na base (r²=0,64), mas até mais evidente no nível de 1,3 m (r²=0,57). Este aspecto é da máxima importância tendo em consideração que, fruto da maior facilidade de execução, é a este nível de altura na árvore que as amostras são na maioria das vezes colhidas. A este respeito também SOUZA *et al.*, (1986) concluíram que em todas as procedências analisadas de *Eucalyptus saligna* e de *Eucalyptus grandis*, o nível que estima melhor a densidade média da árvore não é a 1,3 m como muitos autores citam, mas sim entre os 25% e 50% da altura total da árvore.

Já por sua vez MENDES *et al.*, (1999),

num estudo realizado em 9 árvores da espécie *Pinus oocarpa* com 14 anos de idade, chegaram à conclusão que a melhor posição para estimar a densidade básica média da árvore está situada a 50% da altura comercial, seguida da posição de 1,3 m.

Evidentemente que o facto de não ser o nível a 1,3 m o que melhor se correlaciona com a densidade básica global da árvore poderá ser um problema quando se estão a fazer avaliações em árvores em pé. A determinação da densidade a um nível no tronco que corresponda a uma percentagem da altura total da árvore será sempre mais difícil e demorada, comparativamente à altura do peito (1,3 m).

Já o nível no qual a densidade pior se correlaciona com a densidade global da árvore é o dos 90%, sendo o coeficiente de determinação de apenas 0,01. Este resultado poderá ter explicação no facto de ser neste nível que se encontra o lenho de maior juvenilidade, caracterizado por uma grande instabilidade em resultado da forte influência da copa.

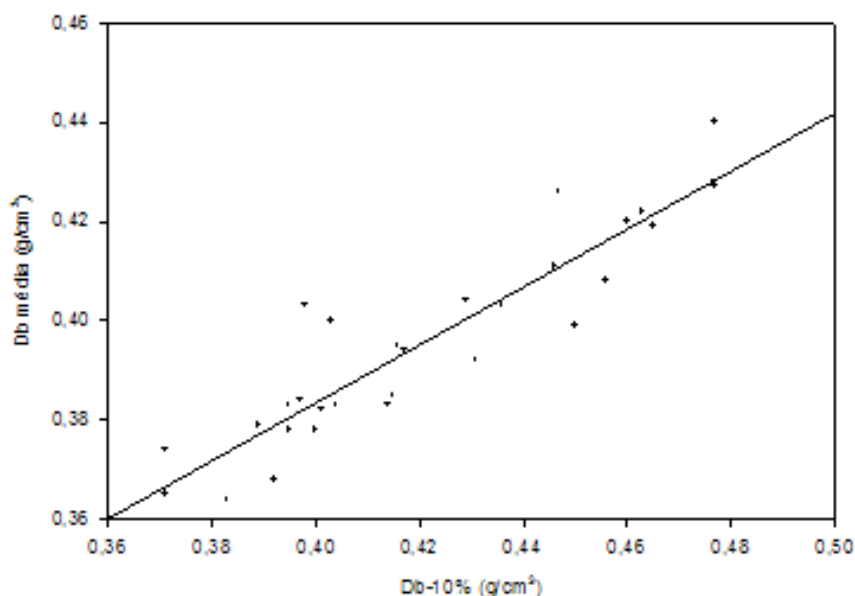


Figura 1 - Representação gráfica da regressão entre a densidade básica média da árvore (Db média) e a densidade básica estimada a 10% da altura total (Db-10%)

Correlações entre peso/volume e volume/peso

Para a conversão do volume (sobre casca) em peso e vice-versa recorreu-se ao uso de várias regressões lineares simples, que são apresentadas no Quadro 3 com os respectivos coeficientes de determinação estimados. As unidades utilizadas são: volume em metros cúbicos e peso em toneladas.

Analisando o Quadro 3 verifica-se que os coeficientes de determinação para qualquer das equações obtidas são muito elevados (0,99). Tendo em conta que um

dos principais problemas que se colocam ao nível das transacções comerciais da madeira em pé é a avaliação do seu peso verde, os resultados obtidos são de uma valiosa e evidente importância pelo facto de permitirem uma estimativa credível deste. WAHLGREN *et al.*, (1965) referem-se ao interesse e necessidade de um método não destrutivo que permita a conversão de volume em peso. Na Figura 2 é representada graficamente a relação entre estas duas características, obtida para a madeira de *Pinus pinaster*.

Quadro 3 - Equações das regressões utilizadas na estimativa do volume (m³), peso verde (ton) e peso seco (ton)

Regressão Testada	Equação Obtida	r ²
V = f (Pv)	$V = -0,001497 + 1,265434 Pv$	0,99
V = f (Ps)	$V = 0,014218 + 2,393928 Ps$	0,99
Pv = f (V)	$Pv = -0,004153 + 0,779409 V$	0,99
Ps = f (V)	$Ps = -0,004540 + 0,412619 V$	0,99

V: volume sobre casca; Pv: peso verde e Ps: peso seco.

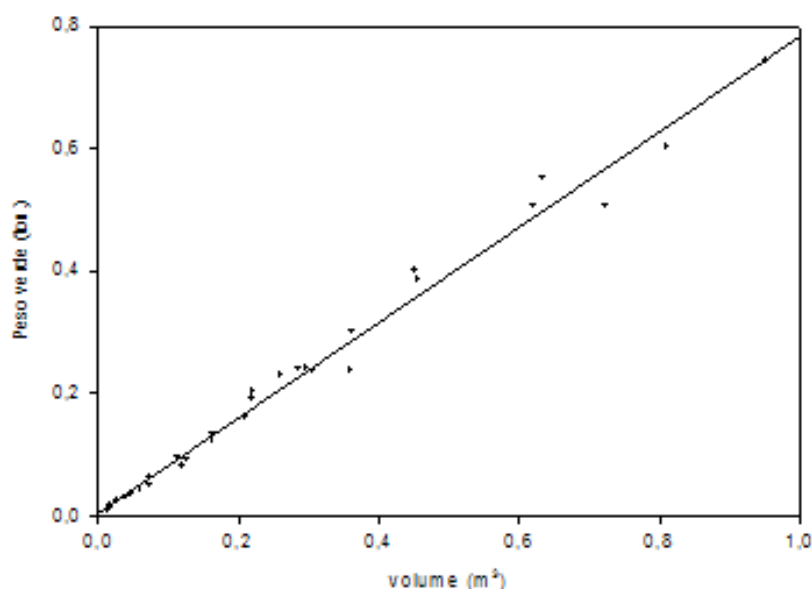


Figura 2 - Representação gráfica da regressão entre peso verde e volume para a *Pinus pinaster*

Nos Quadros 4 a 7 apresentam-se as seguintes tabelas de conversão: volume em peso verde (Quadro 4), peso verde em volume (Quadro 5), volume em peso seco (Quadro 6) e peso seco em volume (Quadro 7). Os valores apresentados

nestas tabelas foram obtidos através das equações anteriormente calculadas. As unidades utilizadas são: volume em metros cúbicos e peso em toneladas. O volume referido é volume sobre casca.

Quadro 4 - Conversão entre volume sobre casca e peso verde para o Pinheiro bravo na região do Vale do Tâmega

Volume (m ³)	Peso Verde (ton.)
1	0,775
10	7,790
20	15,584
30	23,378
40	31,172
50	38,966
60	46,760
70	54,555
80	62,349
90	70,143
100	77,937
120	93,525
140	109,113
160	124,701
180	140,290
200	155,878
220	171,466
240	187,054
260	202,642
280	218,230
300	233,817
320	249,407
340	264,995
360	280,583
380	296,171
400	311,760
420	327,348
440	342,936
460	358,524
480	374,112
500	389,701

Quadro 5 - Conversão entre peso verde e volume sobre casca para o Pinheiro bravo na região do Vale do Tâmega

Peso Verde (ton.)	Volume (m ³)
1	1,264
10	12,653
20	25,307
30	37,962
40	50,616
50	63,270
60	75,924
70	88,579
80	101,233
90	113,888
100	126,542
120	151,851
140	177,159
160	202,468
180	227,777
200	253,085
220	278,394
240	303,703
260	329,011
280	354,320
300	379,629
320	404,937
340	430,246
360	455,555
380	480,863
400	506,172
420	531,481
440	556,789
460	582,098
480	607,407
500	632,716

Quadro 6 - Conversão entre volume sobre casca e peso seco para o Pinheiro bravo na região do Vale do Tâmega

Volume (m³)	Peso Seco (ton.)
1	0,409
10	4,122
20	8,248
30	12,374
40	16,500
50	20,626
60	24,753
70	28,879
80	33,005
90	37,131
100	41,257
120	49,510
140	57,762
160	66,015
180	74,267
200	82,519
220	90,772
240	99,024
260	107,276
280	115,529
300	123,781
320	132,034
340	140,286
360	148,538
380	156,791
400	165,043
420	173,295
440	181,548
460	189,800
480	198,053
500	200,305

Quadro 7 - Conversão entre peso seco e volume sobre casca para o Pinheiro bravo na região do Vale do Tâmega

Peso Seco (ton.)	Volume (m³)
1	2,408
10	23,954
20	47,893
30	71,832
40	95,771
50	119,711
60	143,650
70	167,589
80	191,528
90	215,468
100	239,407
120	287,286
140	335,164
160	383,043
180	430,921
200	478,800
220	526,678
240	574,557
260	622,436
280	670,314
300	718,193
320	766,071
340	813,950
360	861,828
380	909,707
400	957,585
420	1005,464
440	1053,343
460	1101,221
480	1149,100
500	1196,978

Estimativa do Peso e do Volume através do Diâmetro, ou através do Diâmetro e Altura total da árvore

No Quadro 8 são apresentadas as diferentes equações de regressão utilizadas para estimar o peso e o volume sobre casca em função do diâmetro e altura total da árvore.

Através da análise deste quadro observa-se que a estimativa do volume obtida pela equação logarítmica do diâmetro possui um coeficiente de determinação de 0,99, enquanto que a correspondente equação linear apresenta um coeficiente de determinação de apenas 0,88. Já a estimativa do volume obtida através da equação linear múltipla do diâmetro e altura total possui um coeficiente de determinação de apenas 0,89. Concluímos portanto que a melhor estimativa do volume se obtém através da equação logarítmica do diâmetro. Esta evidência simplifica muito o trabalho de recolha de dados no campo, uma vez que proceder à medição de diâmetros é bem mais fácil e rápida que a medição das alturas.

A estimativa do peso verde obtida através da equação logarítmica do diâmetro possui um coeficiente de

determinação de 0,98 enquanto que a estimativa através da equação linear do diâmetro apresenta um coeficiente de determinação, bastante inferior, de apenas 0,89. Por sua vez a estimativa do peso verde através da equação linear múltipla do diâmetro e altura total possui um coeficiente de determinação de 0,91. À semelhança do raciocínio exposto acima, também aqui será desnecessário a medição das alturas das árvores, pois é possível obter-se uma estimativa credível do peso verde apenas através do diâmetro, uma vez que a melhor estimativa é conseguida através da equação logarítmica.

Também a estimativa do peso seco através da equação logarítmica do diâmetro apresenta um coeficiente de determinação bastante mais elevado (0,98), comparativamente à correspondente equação linear (0,84).

Nos Quadros 9 e 10 apresentam-se mais duas tabelas de simples entrada construídas com base nas equações logarítmicas apresentadas no Quadro 8 e que permitem, com apenas o conhecimento do diâmetro (cm), estimar o volume (m³) (Quadro 9) e o peso verde (ton.) (Quadro 10) do tronco das árvores de *Pinus pinaster*.

Quadro 8 - Equações de regressão utilizadas na estimativa do volume (m³) e do peso (ton), em função do diâmetro (cm) e da altura (m)

Regressão Testada	Equação Obtida	r ²
V = f (d)	$V = 0,000076 d^{2,62405}$	0,99
V = f (d)	$V = -0,310768 + 0,028864 d$	0,88
Pv = f (d)	$Pv = 0,000049 d^{2,69110}$	0,98
Pv = f (d)	$Pv = -0,242498 + 0,022789 d$	0,89
Ps = f (d)	$Ps = 0,000023 d^{2,702741}$	0,98
Ps = f (d)	$Ps = -0,128240 + 0,011686 d$	0,84
V = f (d, ht)	$V = -0,333529 + 0,022295 d + 0,013191 ht$	0,89
Pv = f (d, ht)	$Pv = -262,302572 + 17,073695 d + 11,477887 ht$	0,91

V: volume sobre casca; Pv: peso verde; Ps: peso seco; d: diâmetro e ht: altura total

Quadro 9 - Volume de simples entrada para o Pinheiro bravo na região do Vale do Tâmega

Dap (cm)	Volume (m³)
10	0,0320
15	0,0927
20	0,1971
25	0,3541
30	0,5713
35	0,8561

Quadro 10 - Peso verde de simples entrada para o Pinheiro bravo na região do Vale do Tâmega

Dap (cm)	Peso Verde (ton.)
10	0,0241
15	0,0716
20	0,1554
25	0,2833
30	0,4627
35	0,7005

Conclusões

A densidade básica média da madeira foi estimada em 0,400 g/cm³.

O melhor nível de amostragem para se estimar a densidade básica média da árvore situa-se aos 10% da altura total da árvore (no qual se obtém uma determinação de 85%), seguido dos níveis 50 e 40%. Apesar do nível de 1,3 m ser o de mais fácil determinação, especialmente quando se tratam de árvores em pé, não é aquele que consegue traduzir com um mínimo de rigor a densidade média da árvore, atendendo a que este nível apenas explica 57% do valor médio da árvore. Os níveis mais altos na árvore, nomeadamente dos 80 e 90%, são aqueles que pior traduzem a densidade média da árvore. Estes resultados prendem-se com o facto destes níveis se encontrarem sob

forte influência da copa e, assim, constituídos maioritariamente por lenho juvenil, sendo o lenho formado nestas condições bastante instável. A situação é flagrante no nível dos 90%, ao qual a densidade deste nível apenas explica cerca de 1% da densidade média da árvore.

O rigor com que se consegue fazer a correspondência entre peso e volume nesta espécie é muito grande (da ordem dos 99%) através de equações lineares simples.

As melhores estimativas, quer de volume, quer de peso, obtêm-se apenas com o diâmetro e através de equações logarítmicas (r² compreendido entre 0,98 e 0,99), ficando bastante aquém as estimativas através do diâmetro e altura recorrendo a equações lineares (r² compreendido entre 0,89 e 0,91). Levando em linha de conta que a estimativa das alturas é muito mais difícil que a determinação do diâmetro, esta constatação é muito importante em termos da execução do trabalho de campo. Conseguiram-se assim estimativas credíveis não só de volume como de peso, através de equações logarítmicas que relacionam estas variáveis apenas com o diâmetro.

Tendo este trabalho sido realizado com 30 árvores da espécie *Pinus pinaster* da região do Vale do Tâmega em que a unidade amostral compreendia árvores dos 13 aos 54 anos de idade, com 7,5 a 35,7 cm de diâmetro e 3,5 a 22,2 m de altura total, os resultados obtidos são passíveis de extrapolação apenas para populações que se encontrem entre estes limites de idade, diâmetro e altura, bem como a crescer em condições edafoclimáticas semelhantes.

Bibliografia

- DGF, 2007. *Inventário Florestal 2005/2006*. DGRF, 18pp.
- HAYGREEN, J.G., BOWYER, J.L., 1982. *Forest products and wood science - An introduction*. The Iowa State University Press/AMGS.
- MENDES, L.M., SILVA, J.R., TRUGILHO, P.F., LIMA, J.T., 1999. Variação da densidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. no sentido longitudinal dos caules. *CERNE* 5(1): 105-111.
- SOUZA, V.R., CARPIM, M.A., BARRICHELO, L.E., 1986. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posição em árvores de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. *IPEF. Piracicaba* 33: 65-72.
- ST. CLAIR, J.B., 1993. Family differences in equations for predicting biomass and leaf area in Douglas Fir (*Pseudotsuga menziessi* var. *menziessi*). *Forest Science* 4.
- WAHLGREN, H.E., HART, A.C., MAEGLIN, R.R., 1966. Estimating tree specific gravity of maine conifers. *FPL* 61. *For. Prod. Lab.* (USA).

Entregue para publicação em Outubro de 2007

Aceite para publicação em Janeiro de 2008