

## Varição das Componentes da Densidade Entre e Dentro das Árvores de *Quercus faginea*

José L. Louzada<sup>1</sup>, Sofia Knapic<sup>2</sup>, e Helena Pereira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Departamento Florestal-CITAB. Quinta de Prados  
5001-801 VILA REAL

<sup>2</sup>UTL. Instituto Superior de Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Tapada da Ajuda, 1349-017  
LISBOA

**Resumo.** Utilizando a técnica de microdensitometria por raios-x, foram estudados padrões de variação axial e radial da densidade, e suas componentes, da madeira de *Quercus faginea*. O trabalho foi efectuado com base em amostras de madeira colhidas em 4 níveis de altura no tronco (Base, Dap, 3,4m e 5,5m), de 10 árvores adultas localizadas no Nordeste Transmontano. A madeira de *Quercus faginea* revelou-se muito densa (densidade média do anel = 0,859 g.cm<sup>-3</sup>), com uma considerável variabilidade dentro dos anéis (densidade média lenho inicial = 0,698 g.cm<sup>-3</sup>; densidade média lenho final = 0,927 g.cm<sup>-3</sup>) em que o lenho final representa quase 70% do total do anel de crescimento. A variação entre árvores foi sempre estatisticamente altamente significativa, representando entre 8,2% e 12,9% da variação total. Relativamente aos padrões de variação dentro das árvores, verificou-se que a variação radial (sentido medula/câmbio) é considerável, e bastante superior à axial (sentido base/topo), sendo a primeira responsável por 19,2% a 30,4% da variação total e traduzida por uma tendência de decréscimo da densidade da medula para o câmbio. No que refere à variação axial, a tendência é para um ligeiro decréscimo da densidade da base para o topo, explicando entre 5,8% a 6,8% da variação total.

\*\*\*

### Introdução

Os carvalhos são em geral bastante apreciados como espécie madeireira por lhes estar associado uma imagem de beleza e resistência mecânica.

Em Portugal as principais espécies de carvalhos são *Quercus robur* (Carvalho português ou Alvarinho), *Quercus rubra* (Carvalho Americano), *Quercus pyrenaica* (Carvalho negral), *Quercus suber* (Sobreiro) e *Quercus rotundifolia* (Azinheira).

Têm havido ao longo dos tempos vários estudos com o intuito de caracterizar as propriedades desta madeira, bem como a sua variação dentro e entre árvores.

A densidade da madeira é considerado um critério fundamental de qualidade da mesma, uma vez que permite estabelecer uma correlação com outras propriedades físicas e mecânicas, nomeadamente resistência mecânica e comportamento em uso.

A densidade dos carvalhos tem sido amplamente estudada, i.e. *Quercus robur* L. e *Q. petraea* (Matt.) Liebl em França (ACKERMANN, 1995; BERGÈS *et al.*, 2000; DEGRON e NEPVEU, 1996; GUILLEY *et al.*, 1999), tendo sido estabelecidos modelos de variação de densidade usando a largura do anel e a idade cambial (ACKERMANN, 1995; DEGRON e NEPVEU, 1996; BERGÈS *et al.*, 2000, GUILLEY, 2000).

A maioria dos estudos sobre a variação de densidade dentro e entre árvores utilizam técnicas de microdensitometria com raios X (POLGE 1966 e 1978).

O objectivo deste trabalho foi o estudo da variação da densidade dentro e entre árvores, através da análise dos dados recolhidos com o sistema de microdensitometria por raios-X.

### Material e Métodos

As árvores de *Quercus faginea* utilizadas neste estudo foram amostradas no Nordeste Transmontano, nas proximidades de Macedo de Cavaleiros (Cortiços N-41°30'41"W-7°01'06" e Gralhós N-41°32'10"W-6°46'25"). A colheita de material decorreu em Outubro de 2007. No total foram abatidas 10 árvores, cujas características dendrométricas são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** - Características dendrométricas das árvores amostradas

Árvore	Idade estimada (anos)	Altura total (m)	Altura copa (m)	Altura tronco (m)	DAP (cm)
1	60	9,5	7,2	2,3	33,1
2	34	10,1	8,9	1,2	27,1
3	34	11,7	11,2	0,5	28,6
4	43	10,4	8,5	1,9	23,9
5	36	10,0	6,1	3,9	19,1
6	42	11,0	8,8	2,2	28,6
7	39	10,8	7,5	3,3	23,9
8	38	10,5	7,6	2,9	23,9
9	39	11,0	8,4	2,6	19,4
10	39	9,7	8,3	1,4	20,7
average		10,5	8,3	2,2	24,8

De cada árvore foi colhida uma rodela, com cerca de 10 cm de espessura, em cada um dos seguintes níveis de altura no tronco: base, altura do peito (1,3 m), 3,4 e, daí até ao topo, em intervalos de 2,1 m.

De cada rodela foi retirada uma amostra com 4 cm de espessura, que posteriormente foi maquinada numa tupa de disco duplo, de forma a obter-se uma amostra radial (da medula ao câmbio) com uma dimensão axial constante de 2mm.

Estas amostras foram posteriormente colocadas num condicionador de humidade, até atingirem um teor de humidade de equilíbrio da madeira de 12%, radiografadas perpendicularmente à secção transversal da madeira e a sua imagem impressa numa película de raio-x, que foi analisada num microdensitómetro segundo a metodologia descrita por POLGE (1966, 1978) e LOUZADA (2000). O tempo de exposição à radiação foi de 350 s, com uma intensidade 18 mA e uma tensão de radiação de 12 kV. A distância entre a fonte de radiação e a película de raio-x foi de 2.5 m.

Os dados que compõem os perfis radiais de densidade foram registados em intervalos de 100 µm, numa janela de leitura com uma dimensão de 100 x 455 µm (radial x tangencial).

Devido à grande dificuldade de identificar os limites dos anéis de crescimento mais estreitos, as componentes da densidade não puderam ser calculadas anel a anel, mas sim em pequenos segmentos. Desta forma cada amostra radial foi dividida em 10 segmentos iguais e, em cada um deles, determinadas as seguintes componentes: densidade média do anel (Dmed),

densidade do lenho inicial (DLI), densidade do lenho final (DLF) e percentagem de lenho final (%LF).

O limite de demarcação entre lenho inicial e final foi calculado pela média dos valores de densidade máxima e mínima em cada segmento (DEGRON and NEPVEU, 1996; MOTHE *et al.*, 1998; ROZENBERG *et al.*, 2001).

As análises de variância para todas as componentes foram efectuadas de acordo com o modelo apresentado na Tabela 2, para avaliar a significância estatística do efeito das árvores, níveis, segmentos (idade) e suas interações, assim como para estimar as componentes da variância associada a cada origem de variação.

**Tabela 2** - Modelo de análise de variância utilizado em todas as componentes da densidade

Origem de variação	Graus de liberdade	Termo comp.	Variância esperada
(1) Árvores (A)	a-1	( 6)	$\sigma^2_{\varepsilon} + ns \sigma^2_A$
(2) Níveis (N)	n-1	( 6)	$\sigma^2_{\varepsilon} + s \sigma^2_{AN} + sa \sigma^2_N$
(3) N x A	(n-1) (a-1)	( 5)	$\sigma^2_{\varepsilon} + s \sigma^2_{AN}$
(4) Segmentos (S)	s-1	( 5)	$\sigma^2_{\varepsilon} + n \sigma^2_{SA} + na \sigma^2_S$
(5) S x A	(s-1) (a-1)	( 7)	$\sigma^2_{\varepsilon} + n \sigma^2_{SA}$
(6) S x N	(s-1) (n-1)	( 7)	$\sigma^2_{\varepsilon} + a \sigma^2_{SN}$
(7) Resíduo (S x N x A)	(s-1) (n-1) (a-1)		$\sigma^2_{\varepsilon}$

a = nº de árvores (10); n = nº níveis/árvore (4); s = nº de segmentos/nível (10)

$\sigma^2_A$ ,  $\sigma^2_N$ ,  $\sigma^2_{AN}$ ,  $\sigma^2_S$ ,  $\sigma^2_{SA}$ ,  $\sigma^2_{SN}$ , e  $\sigma^2_{\varepsilon}$  representam as componentes da variância das árvores, níveis, árvores x níveis, segmentos, segmentos x árvores, segmentos x níveis e resíduo, respectivamente.

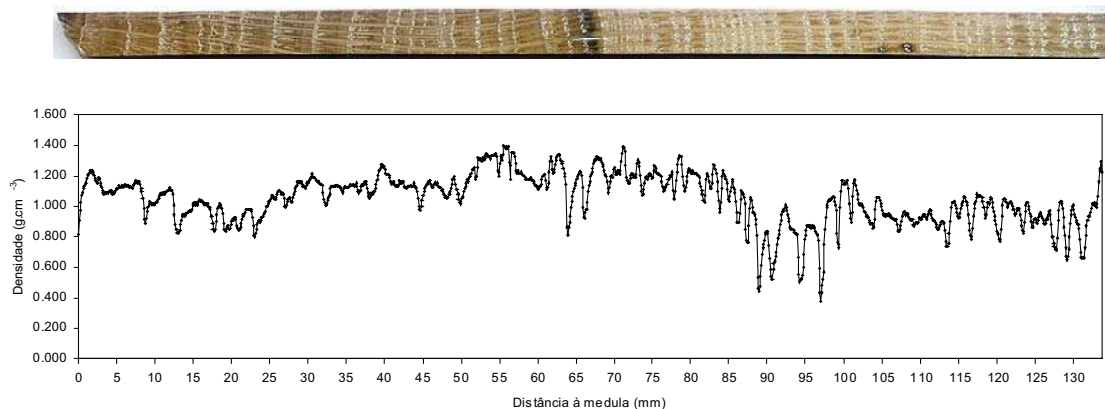
## Resultados

Os perfis microdensitométricos obtidos das amostras de madeira de *Quercus faginea* são exemplificados na Figura 1 pela amostra correspondente ao nível 1 (base) da árvore 1. Os perfis foram relativamente idênticos para todas as árvores, sendo normalmente possível identificar a porção correspondente ao cerne e ao borne. Dentro dos anéis de crescimento, verificou-se uma considerável diferenciação entre os valores da densidade do lenho inicial e final, em que o decréscimo acentuado da densidade no início do anel está relacionado com a grande dimensão dos vasos aí existentes. Todavia, embora nos anéis mais largos esta diferença de valores de densidade permita identificar os anéis, nos mais estreitos verifica-se que o padrão de variação não é tão nítido, o que impossibilita a identificação automática dos limites dos anéis de crescimento.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios, por árvore e global, para cada uma das componentes da densidade da madeira.

A madeira de *Quercus faginea* revelou-se bastante densa, com um valor médio por árvore de densidade média do anel de 0,859 g cm<sup>-3</sup>, da densidade do lenho inicial de 0,698 g cm<sup>-3</sup> e da densidade do lenho final de 0,927 g cm<sup>-3</sup>. A porção do lenho final representa quase 70% do total do anel.

Na Tabela 4 é apresentado um resumo dos resultados da análise de variância efectuada para cada componente da densidade, nomeadamente a significância estatística e o peso relativo de cada uma das características analisadas



**Figura 1** - Fotografia da amostra radial de madeira de *Quercus faginea*, obtida da árvore 1, nível 1 e correspondente perfil microdensitométrico

**Tabela 3** - Valores médios, por árvore e global, para cada uma das componentes da densidade da madeira de *Quercus faginea*

Árvore	Dens. media anel	Dens. lenho inicial	Dens. lenho final	% Lenho final
1	0,899	0,751	0,973	64,9
2	0,884	0,749	0,938	70,0
3	0,795	0,627	0,846	74,7
4	0,823	0,691	0,885	66,2
5	0,821	0,634	0,892	72,0
6	0,865	0,713	0,942	66,5
7	0,833	0,649	0,896	73,9
8	0,863	0,704	0,946	66,1
9	0,886	0,711	0,959	71,1
10	0,925	0,749	0,992	71,9
Global	0,859	0,698	0,927	69,7

**Tabela 4** - Resumo das análises de variância para cada componente da densidade, mostrando a significância estatística e a percentagem da variação total devida a cada origem de variação

Origem de variação	Graus de liberdade	DMed Sig. %	DLI Sig. %	DLF Sig. %	% LF Sig. %
Árvores (A)	9	*** 8,2	*** 8,5	*** 12,9	*** 3,6
Níveis (N)	3	** 6,5	** 6,8	* 5,8	ns 0,5
A x N	27	*** 9,8	*** 12,5	*** 13,2	** 5,6
Segmentos (S)	9	*** 30,4	*** 24,1	*** 19,2	*** 13,0
S x A	81	*** 9,2	ns 3,2	*** 9,9	*** 11,5
S x N	27	** 3,3	ns 1,7	*** 6,0	** 5,2
Resíduo (S x N x A)	243	32,6	43,1	33,1	60,6

\*\*\* ( $p < 0,001$ ); \*\* ( $p < 0,01$ ); \* ( $p < 0,05$ ); ns ( $p > 0,05$ )

### *Efeito das Árvores*

A variação da densidade entre árvores foi sempre estatisticamente significativa para as características da densidade, tendo explicado 8,2% da variação total da densidade média do anel. Porém, esta variação entre árvores foi mais acentuada na densidade do lenho final (12,9%) do que no lenho inicial (8,5%). Já para a percentagem do lenho final, embora também altamente significativo, o seu peso para a variação total foi muito menor (apenas 3,6%).

### *Efeito dos Níveis (Variação axial)*

Embora o efeito dos níveis seja altamente significativo, ou muito significativo, apenas explica entre 5,8% e 6,8% da variação total da densidade média e suas componentes, traduzido por uma ligeira tendência de decréscimo da densidade, da base para o topo da árvore.

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios das componentes da densidade e percentagem de lenho final, por nível de altura na árvore e o correspondente teste de comparação de médias.

**Tabela 5** - Valores médios das componentes da densidade e percentagem de lenho final, por nível de altura na árvore e correspondente teste de comparação de médias

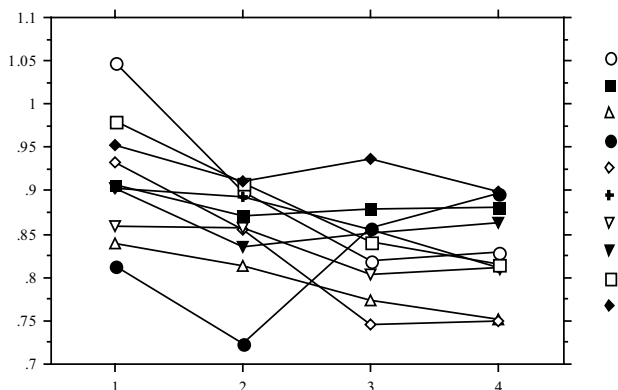
Nível	DMed	DLI	DLF	%LF
4 (Topo)	0,831 a	0,677 a	0,901 a	66,6 a
3	0,836 a	0,666 a	0,906 a	70,7 a
2	0,857 a	0,685 a	0,927 a	70,8 a
1 (Base)	0,914 b	0,763 b	0,974 b	70,7 a

Nota: Médias na mesma coluna com a mesma letra não são significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ) pelo Teste Múltiplo de Duncan.

Com base nestes resultados é possível verificar que, de facto, na madeira de *Quercus faginea* a densidade tende a diminuir ligeiramente da base para o topo das árvores, embora do ponto de vista estatístico só o nível da base difere significativamente dos restantes.

Para além disso, também se constatou que apesar do padrão médio de variação seja para uma tendência de decréscimo da base para o nível imediatamente superior, seguido de uma redução mais suave, ou quase estabilização, nem todas as árvores seguem este perfil, na medida em que a interacção A x N não só é estatisticamente altamente significativa, como é responsável por 9,8% e 13,2% da variação total. Como exemplo são apresentados na Figura 2 os perfis de variação axial, por árvore, referentes à densidade média do anel, na qual é possível verificar que embora a maioria das árvores siga o padrão geral de variação axial anteriormente referido, a árvore nº 4 diferencia-se das restantes, exibindo um acréscimo substancial de densidade nos dois níveis superiores do tronco.

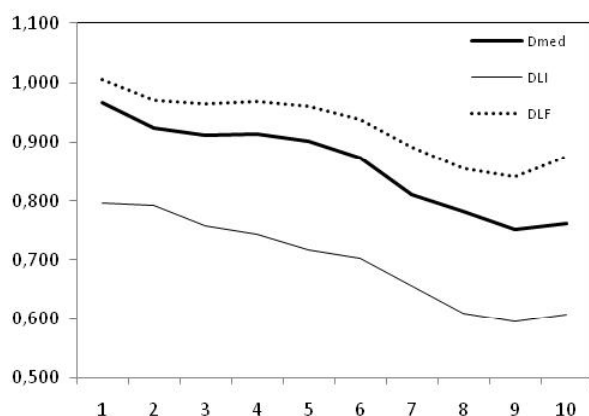
Relativamente à variação axial da percentagem de lenho final, verificou-se que este efeito não só é estatisticamente não significativo, como tem um peso praticamente nulo (0,5%) na variação total desta característica, o que traduz uma ausência quase total de variação da %LF entre os diferentes níveis de altura no tronco.



**Figura 2** - Variação da densidade média do anel, por árvore e nível de altura no tronco

*Efeito dos Segmentos (Variação radial)*

O efeito da variação radial (da medula para o câmbio) das componentes da densidade foi altamente significativo, explicando entre 19,2 e 30,4% da variação total, sendo a sua representação gráfica apresentada na Figura 3, traduzida por uma clara tendência de decréscimo da densidade, da medula para o exterior.



**Figura 3** - Variação radial da Densidade média do anel (Dmed), Densidade do Lenho inicial (DLI) e Densidade do lenho final (DLF), na madeira de *Quercus faginea*

Todavia, embora para a densidade do lenho inicial este padrão de variação seja independente das árvores (S x A: ns, 3,2%) e dos níveis (S x N: ns, 1,7%), na densidade média do anel, na densidade do lenho final e na %LF estas interações já são muito ou altamente significativas e explicam entre 3,3% e 11,5% da variação total. Nestes casos é então previsível que, consoante a árvore ou o nível em questão, o padrão de variação radial possa ser ligeiramente diferente do padrão apresentado na Figura 3.

### *Efeito do Resíduo*

O efeito residual foi responsável por 32,6% a 43,1% da variação total da densidade e suas componentes, ou seja, aproximadamente 33% a 43% da variação total destas características da densidade da madeira de *Q. faginea* é devida a outros factores que não as Árvores, Níveis, Segmentos e suas interacções, mas não tendo sido analisadas permanecem no resíduo. De referir, por exemplo, que neste estudo não foi analisado o efeitos das Direcções nos Níveis, o qual é por vezes considerável, mas não tendo sido analisado, exprime-se no efeito residual. Relativamente à %LF, este efeito residual foi particularmente elevado, constituindo-se claramente como a principal origem de variação, absorvendo mais de 60% da variação total.

### **Discussão**

Embora nas espécies Resinosas os anéis de crescimento sejam normalmente bem demarcados, nas Folhosas o seu aspecto é diferente consoante a espécie. Nas espécies com porosidade do tipo em anel, tais como *Castanea sp.*, *Fraxinus sp.*, *Juglans sp.*, *Robinia sp.* ou *Ulmus sp.* os anéis de crescimento são caracterizados por apresentarem 2 zonas distintas: a inicial em que os grandes vasos são frequentes e a final em que os vasos são muito pequenos. Devido a esta estrutura, os perfis densitométricos destas espécies apresentam normalmente valores extremos nas 2 zonas, que correspondem a valores baixos de densidade no lenho inicial e elevados no lenho final, permitindo assim uma clara identificação dos anéis de crescimento.

Em situação oposta estão as espécies de porosidade difusa, tais como não só uma grande quantidade de espécies tropicais, mas também algumas folhosas temperadas, como sejam alguns *Eucalyptus sp.*, *Aesculus sp.*, *Ficus sp.*, *Liquidamber sp.*, e *Magnólia sp.* Nestas espécies os vasos são uniformemente distribuídos pelo anel, o que conduz a uma grande dificuldade de identificação dos seus limites.

Relativamente ao género *Quercus*, apresentando uma porosidade em anel, a identificação dos anéis pelos perfis densitométricos costuma ser relativamente fácil. No caso específico da *Quercus faginea*, embora apresente porosidade em anel, o que em princípio poderia supor permitir uma fácil identificação dos anéis, nalgumas situações isso não foi possível. De facto, apesar de nos anéis mais largos ser nítida a ocorrência de 2 zonas com valores de densidade muito diferentes, o que permite a sua fácil identificação, no caso dos anéis estreitos as diferenças de densidade entre lenho inicial e final são muito ténues, pelo que nos deparamos com uma extrema dificuldade de identificar os anéis de crescimento a partir dos perfis densitométricos e impossibilitou o cálculo das componentes da densidade por anel. Em alternativa estas foram calculadas numa sequência de segmentos radiais. Idêntica situação é referida por KNAPIC *et al.* (2008) para a madeira de *Q. suber*.

A madeira de *Q. faginea* apresentou um valor médio de densidade de 0,859 g.cm<sup>-3</sup>, com uma variabilidade entre árvores compreendida entre 0,759 g.cm<sup>-3</sup> e 0,925 g.cm<sup>-3</sup> (Tabela A), revelando-se, assim, uma madeira bastante densa. Idênticos valores são referidos por KNAPIC *et al.* (2007) para a madeira de *Q. suber* produzida em Portugal: Dmed=0,86 g.cm<sup>-3</sup>, com uma variação entre árvores de 0,75 g.cm<sup>-3</sup> a 0,95 g.cm<sup>-3</sup>. Estes valores são também semelhantes a outros *Quercus*, como por exemplo *Q. pendunculata* (0,82 g.cm<sup>-3</sup>), *Q. cerris* (0,85 g.cm<sup>-3</sup>) e *Q. ilex* (0,96 g.cm<sup>-3</sup>) e superiores ao *Q. petraea* (0,51-0,85 g.cm<sup>-3</sup>), *Q. robur* (0,50-0,66 g.cm<sup>-3</sup>), *Q. rubra* (0,54-0,61 g.cm<sup>-3</sup>) e *Q. liaotungensis* (0,66 g.cm<sup>-3</sup>) (DEGRON and NEPVEU, 1996; DERET-VARCIN, 1983; ZHANG, 1997; ZHANG *et al.*, 1993; ZHANG and ZHONG, 1991; NEPVEU,



1984; BERGÈS *et al.*, 2000, 2008; WOODCOCK and SHIER, 2002; DILEM, 1995; BADEL *et al.*, 2006; BONAMINI, 1996; GUILLEY and NEPVEU, 2003; GUYETTE and STAMBAUGH, 2003; HUMAR *et al.*, 2008).

Outra importante característica deste tipo de madeira é a sua reduzida variabilidade da densidade dentro dos anéis. A madeira de *Q. faginea* apresentou uma diferença de  $0,229 \text{ g.cm}^{-3}$  entre a densidade do lenho inicial ( $0,698 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e do lenho final ( $0,927 \text{ g.cm}^{-3}$ ) que, embora muito inferior aos  $0,500 \text{ g.cm}^{-3}$  da madeira de *Eucalyptus nitens* (ZUNIGA *et al.*, 2008) e  $0,245 \text{ g.cm}^{-3}$  da madeira de *Q. petraea* (BERGÈS *et al.*, 2008), é superior aos  $0,098 \text{ g.cm}^{-3}$  e  $0,100 \text{ g.cm}^{-3}$  referidos por KNAPIC *et al.* (2007) e LOUSADA *et al.* (2005) para a madeira de *Q. suber*, o que poderá indicar uma menor aptidão da madeira de *Q. faginea* para algumas aplicações (como sejam a produção de folheados e laminados), comparativamente à madeira de *Q. suber*.

Para além disso, verifica-se que cerca de 70% do anel de crescimento é formado por lenho final, valor este ligeiramente superior aos 57,8% e 61,5% referidos por KNAPIC *et al.* (2007 e 2008), respectivamente.

O efeito das árvores foi sempre altamente significativo, sendo responsável por 8,2% da variação total da Dmed. Idênticos valores são referidos por ZHANG *et al.* (1993), Ackermann (1995) e DEGRON e NEPVEU (1996) para a madeira de *Quercus petraea*. Mais recentemente GUILLEY *et al.* (2004) estimaram que a variação entre árvores explicava entre 29% e 31% da variação total da densidade.

Confirmou-se, também, a tendência já referida por KNAPIC *et al.* (2008) para que o efeito das árvores seja mais notório na DLF (12,9%) do que na DLI (8,5%).

O efeito da variação da densidade com os níveis de altura na árvore manifestou-se sempre estatisticamente significativa, explicando entre 5,8% e 6,8% da variação total (Tabela C), sendo este efeito traduzido por uma tendência de decréscimo da densidade da base para os níveis superiores do tronco. Idênticos resultados foram obtidos por DEGRON e NEPVEU (1996) e GUILLEY *et al.* (1999) para a madeira de *Q. petraea*, bem como por LEI (1996) para a *Q. garryana*. Porém, por KNAPIC *et al.* (2008) num trabalho com a *Q. suber* constatou que a variação da densidade com os níveis de altura no tronco era muito reduzida e sem significância estatística. No presente trabalho, esta ausência de variação axial não foi observada para a densidade, mas sim para a %LF, cujo efeito se revelou estatisticamente não significativo e apenas explica 0,5% da variação total.

No que refere à variação radial da densidade, verificou-se um decréscimo dos valores da densidade da medula para o câmbio. Este padrão de variação é frequente nas folhosas, nomeadamente nalgumas espécies de *Quercus*, como por exemplo na *Q. garryana* (LEI *et al.*, 1996), *Q. petraea* (DEGRON and NEPVEU, 1996; ZHANG, 1997; DERET-VARCIN, 1983; ZHANG *et al.*, 1993; GUILLEY *et al.*, 1999; BERGÈS *et al.*, 2000; GUILLEY and NEPVEU, 2003), *Q. robur* (DERET-VARCIN, 1983; ZHANG *et al.*, 1993) e *Q. rubra* (WOODCOCK and SHIER, 2002, 2003). Este efeito da variação da densidade da medula para o câmbio revelou-se como uma das principais origens de variação da densidade, explicando entre 19,2% a 30,4% da sua variação total. KNAPIC *et al.*, (2008) obteve para a madeira de *Q. suber* valores entre 18,8% e 23,6% e ZHANG (1997) valores relativamente superiores (26% a 32%) para a *Q. petraea*.



## Conclusões

Na identificação dos anéis pelos perfis densitométricos, apesar da porosidade em anel que apresenta, nem sempre foi possível uma fácil identificação dos anéis, impossibilitando por isso o cálculo das respectivas componentes da densidade.

A madeira de *Q. faginea* é uma madeira bastante densa com um valor médio de densidade de 0,859 g.cm<sup>-3</sup> e uma variabilidade entre árvores compreendida entre 0,759 g.cm<sup>-3</sup> e 0,925 g.cm<sup>-3</sup>. Apresenta uma reduzida variabilidade da densidade dentro dos anéis (com 70% do anel de crescimento formado por lenho final) o que poderá indiciar uma menor aptidão da madeira de *Q. faginea* para algumas aplicações (como sejam a produção de folheados e laminados), comparativamente à madeira de *Q. suber*.

O efeito da variação da densidade com os níveis de altura na árvore manifestou-se sempre estatisticamente significativa sendo este efeito traduzido por uma tendência de decréscimo da densidade da base para os níveis superiores do tronco.

No que refere à variação radial da densidade, verificou-se um decréscimo dos valores da densidade da medula para o câmbio.

## Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto OAKWOODS.PT "Properties of wood from Portuguese oaks for high value solid and assembled wood products" (PTDC/AGR-AAM/69077/2006), financiado pela FCT.

## Referencias / Bibliografia

- ACKERMANN, F. 1995. Relationship between forest site and intra-ring wood density components for the Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) of southwestern France. *Ann. Sci. For.* **52**(6): 635-652.
- BADEL, E., BAKOUR, R., PERRÉ, P., 2006. Investigation of the relationships between anatomical pattern, density and local swelling of oak wood. *IAWA Journal* **27**(1): 55-71.
- BERGÈS, L., DUPOUEY, J.-L., FRANC, A., 2000. Long-term changes in wood density and radial growth of *Quercus petraea* Liebl. in northern France since the middle of the nineteenth century. *Trees*. **14**: 398-408.
- BERGÈS, L., NEPVEU, G., FRANC, A., 2008. Effects of ecological factors on radial growth and wood density components of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) in Northern France. *Forest Ecology and Management* **255**(3-4), 567-579.
- BONAMINI, G., 1996. Un nuovo criterio per il raggruppamento razionale delle specie legnose in base alla massa volumica. *Monti e Boschi* **47**(1): 34-38.
- DEGRON, R., NEPVEU, G., 1996. Prévision de la variabilité intra- et interarbre de la densité du bois de chêne rouvre (*Quercus petraea* Liebl) par modélisation des largeurs et des densités des bois initial et final en fonction de l'âge cambial, de la largeur de cerne et du niveau dans l'arbre. *Ann. Sci. For.* **53**: 1019-1030.
- DERET-VARCIN, E., 1983. Etude comparative de la qualité du bois de trois types de chênes (rouvres, pédonculés et intermédiaires), en forêt de Morimond. *Ann. Sci. For.* **40**(4) : 373-398.
- DILEM, A., 1995. Etude de quelques propriétés du bois de Chêne vert (*Quercus ilex*) dans la région d'El-Hassasna (Saida-Algérie). *Forêt Méditerranéenne* **XVI**(1) : 74-78.
- GUILLEY, E., HERVE, J.-C., HUBER, F., NEPVEU, G., 1999. Modelling variability of within-ring density components in *Quercus petraea* Liebl. with mixed-effect models and simulating the influence of contrasting silvicultures on wood density. *Ann. For. Sci.* **56**: 449-458.

- GUILLEY, E., NEPVEU, G., 2003. Anatomical interpretation of the components of a wood density mixed model in sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.): ring number from the pith, ring width, tree, interannual variation, heartwood formation. *Ann. For. Sci.* **60**: 331-346.
- GUILLEY, E., HERVÉ, J.-C., NEPVEU, G., 2004. The influence of site quality, silviculture and region on wood density mixed model in *Quercus petraea* Liebl.. *Forest Ecology and Management* **189**: 111-121
- GUYETTE, R., STAMBAUGH, M., 2003. The age and density of ancient and modern oak wood in streams and sediments. *IAWA Journal* **24**(4): 345-353.
- HUMAR, M., FABRIC, B., ZUPANCIC, M., *et al.*, 2008. Influence of xylem growth ring width and wood density on durability of oak heartwood. *Int. Biodeterioration & Biodegradation* **62**(4): 368-371.
- KNAPIC, S., LOUZADA, J., LEAL, S., PEREIRA, H., 2007. Radial variation of wood density components and ring width in cork oak trees. *Annals of Forest Science* Vol. **64** (2): 211-218.
- KNAPIC, S., LOUZADA, J., LEAL, S., PEREIRA, H., 2008. Within-tree and between-tree variation of wood density components in cork oak trees in two sites in Portugal. *Forestry* **81**(4): 465-473.
- LEI, H., MILOTA, M.R., GARTNER, B.L., 1996. Between- and within-tree variation in the anatomy and specific gravity of wood in oregon white oak (*Quercus garryana* Dougl.). *IAWA Journal* **17**(4): 445-461.
- LOUZADA, J., 2000. Variação Fenotípica e Genética em Características Estruturais na Madeira de Pinus pinaster Ait. O comprimento das fibras e a densidade até aos 80 anos de idade das árvores. Parâmetros genéticos na evolução juvenil-adulto das componentes da densidade da madeira. UTAD, Série Didáctica, Ciências Aplicadas nº 143, Vila Real, 293pp.
- LOUZADA, J., KNAPIC, S., PEREIRA, H., 2005. Variation of cork oak wood density. Suberwood 2005 Conference – New challenges for the integration of cork oak forests and products. Huelva (Espanha). 10pp.
- MOTHE, F., SCIAMA, D., LEBAN, J.-M., NEPVEU, G., 1998. Localisation de la transition bois initial-bois final dans un cerne de chêne par analyse microdensitométrique. *Ann. For. Sci.* **55** : 437-449.
- NEPVEU, G., 1984. Contrôle héréditaire de la densité et de la rétractibilité du bois de trois espèces de Chêne (*Quercus petraea*, *Quercus robur* et *Quercus rubra*). *Silvae Genetica* **33**(4-5) : 110-115.
- POLGE, H., 1966. Établissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants - Applications dans les domaines technologique et physiologique. *Ann. Sci. For.* Tome XXIII - Fascicule 1, 206pp.
- POLGE, H., 1978. Fifteen years of wood radiation densitometry. *Wood Sci. Technol.* **12**: 187-196.
- ROZENBERG, Ph., FRANC, A., CAHALAN, C., 2001. Incorporating wood density in breeding programs for softwoods in europe: a strategy and associated methods. *Silvae Genetica* **50**(1): 1-7.
- WOODCOCK, D.W., SHIER, A.D., 2002. Wood specific gravity and its radial variations: the many ways to make a tree. *Trees* **16**: 437-443.
- WOODCOCK, D.W., SHIER, A.D., 2003. Does canopy position affect wood specific gravity in temperate forest trees? *Annals of Botany* **91**(5): 529-537.
- ZHANG, S.Y., 1997. Variations and correlations of various ring width and ring density features in European oak: implications in dendroclimatology. *Wood Sci. Technol.* **31**(1): 63-72.
- ZHANG, S-Y, OWOUNDI, R.E., NEPVEU, G., MOTHE, F., DHÔTE, J-F., 1993. Modelling wood density in european oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) and simulating the silvicultural influence. *Canadian Journal Forest Research* **23**: 2587-2593.
- ZHANG, S.-Y., ZHONG, Y., 1991. effect of growth rate on specific gravity of east-liaoning oak (*Quercus liaotungensis*) wood. *Canadian Journal Forest Research* **21**: 255-260.
- ZUNIGA, L.L., ANANIAS, R.A., CLOUTIER, A., *et al.*, 2008. Preliminary study of internal checks within growth-rings and their relationship with anatomical features and density in Eucalyptus nitens. *Interciencia* **33**(11): 829-834.