



**Caracterização da Madeira de *Eucalyptus botryoides*
Avaliação da sua Potencialidade para Madeira Sólida**

Vanessa Pinheiro Inácio

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais

Orientador: Doutora Sofia Knapic de Soares Ferreira

Co-orientadores: Professora Helena Pereira e Doutora Teresa Quilhó

Júri:

Presidente: Doutora Maria Helena Reis de Noronha Ribeiro de Almeida, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutora Ofélia Maria Serralha dos Anjos, Professora Adjunta da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco;
Doutora Sofia Knapic de Soares Ferreira, Orientadora.

Lisboa, 2014

AGRADECIMENTOS

À Doutora Sofia Knapic, pela paciência, disponibilidade, orientação e pelas sugestões e indicações do rumo correto a tomar.

À Doutora Teresa Quilhó e Professora Helena Pereira por todo o apoio e revisão do trabalho.

Ao Doutor José António Santos, pela orientação e auxílio prestado na realização dos ensaios mecânicos e por se mostrar sempre acessível no esclarecimento de dúvidas.

Ao Eng. Osório, pela amizade e todo o interesse que sempre demonstrou pelo meu trabalho.

Aos meus amigos, particularmente ao Daniel e à Rita, por todo o apoio e companheirismo demonstrado ao longo do curso.

Ao Diogo, pela paciência, incentivo e carinho durante toda esta fase.

Por fim, agradeço à minha família por esta oportunidade e apoio que sempre me deram ao longo dos anos.

RESUMO

A utilização da madeira de Eucalipto como madeira maciça poderá ser a solução para aumentar a rentabilidade económica da nossa floresta devido ao seu rápido crescimento, boa adaptação, baixo custo de produção e propriedades físicas e mecânicas favoráveis a uma multiplicidade de usos. Este trabalho tem como objetivo o estudo biométrico das fibras, caracterização mecânica e análise do fio espiralado da madeira de *Eucalyptus botryoides*, uma espécie pouco estudada mas com potencialidade para substituir madeiras importadas de alto valor comercial para fins sólidos. Foram estudadas árvores de 4 e 6 anos e caracterizadas as suas fibras, massa volúmica, módulo de elasticidade à flexão estática, compressão axial, dureza Janka e o fio espiralado da madeira. As fibras obtiveram valores e variações esperados de comprimento e espessura das paredes. A madeira de 4 anos revelou um comportamento mecânico eficaz em comparação com a de 6 anos, porque embora com uma densidade inferior, as propriedades mecânicas registaram valores acima dos esperados para a sua leveza, além de não se ter observado fio espiralado. Os resultados obtidos com este trabalho permitem obter bons indícios de um comportamento favorável da madeira de *Eucalyptus botryoides* no que respeita à elaboração de produtos sólidos.

Palavras-chave: *Eucalyptus botryoides*; Madeira sólida; Fibras; Propriedades Mecânicas; Fio Espiralado

ABSTRACT

The use of *Eucalyptus* as solid wood can be a solution to increase the economic viability of our forests due to its rapid growth, good adaptability, low cost of production and physical and mechanical properties favorable to a variety of uses. The aim of this work is to make a biometric study of fibers and characterize the mechanical properties along with the spiral grain detection on *Eucalyptus botryoides* wood, a specie with only a few studies but with great potential to replace imported timber of high commercial value for solid purposes. Trees of 4 and 6 years old were studied and characterized its fibers, density, modulus of elasticity for static bending, axial compression, Janka hardness and spiral grain. The fibers length and wall thickness had expected values and variations. The 4 year's timber revealed a more efficient mechanical behavior than the 6 year's because despite the lower density, the mechanical properties were surprising for its lightness, and also showed no spiral grain. The results obtained in this work points towards evidence of a favorable behavior of *Eucalyptus botryoides* regarding its use on solid wood products.

Keywords: *Eucalyptus botryoides*; Solid Wood; Fibers; Mechanic Properties; Spiral Grain

EXTENDED ABSTRACT

Nowadays, there's an emergent need to respond to the increasing demand for quality solid wood in a short period of time. To be able to recommend the investment in new plantations that will produce quality wood, it is necessary to identify the best ways of industrialization through the understanding of wood properties and their influence on the transformation into manufactured products. The use of *Eucalyptus* as solid wood can be a solution to increase the economic viability of our forests due to its rapid growth, good adaptability, low cost of production and physical and mechanical properties favorable to a variety of uses.

The aim of this work is to analyze the fibers, the mechanical properties and the spiral grain of *Eucalyptus botryoides* wood, a fast growing specie with only a few studies but with great potential to replace imported timber of high commercial value for solid purposes. Five trees of *Eucalyptus botryoides*, two of them with 4 years old and the other three with 6 years old were used. The trees were collected on Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, in Tapada da Ajuda, Lisboa, Portugal (38°42'N; 09°10'W) and were not fertilized. Trees at both ages were studied and characterized its fibers length and wall thickness at DBH (diameter at breast height), wood density, modulus of elasticity to bending, axial compression, Janka hardness and spiral grain.

The results showed that 4-years-old *E. botryoides* had an average fiber length similar to 6-years-old trees of 0.776 mm and 0.779 mm, respectively; however, the young trees are slightly thicker than the older ones with an average of fiber wall thickness of 4.1 μm and 3.5 μm , correspondingly. The fiber length and wall thickness increased from the pith to the tree bark, which is the most common radial variation pattern of the length and fiber wall thickness in *Eucalyptus*. The fibers length and wall thickness had expected values and variations.

Trees of 4 and 6 years old showed a very light (452.95 kg/m^3) and a light density (532.67 kg/m^3), respectively. Modulus of elasticity for static bending was lower in older trees (5646 MPa), showing a higher resistance of younger trees (6802 MPa). These results were a little unexpected but if on one hand the samples used were few, on the other hand the difference in values is not significant (6800 to 5600 MPa), overlapping the ranges of standard deviations. The difference between 4 and 6 years is too close to settling trends of reliable behavior. The value of axial compression was lower for structural use at both ages (34 MPa and 43 MPa) and the value of Janka hardness was lower for the younger trees (26.1 MPa) and medium for the older trees

(37.0 MPa). The younger trees showed no spiral grain, unlike the older ones that even overcome the maximum value admissible for structural use.

The 4 year's timber revealed a more efficient mechanical behavior than the 6 year's because despite the lower density, the mechanical properties were surprising for its lightness, and also showed a very good drying with no defects. The results obtained in this work points towards evidence of a favorable behavior of *Eucalyptus botryoides* regarding its use on solid wood products.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE QUADROS.....	iii
LISTA DE ANEXOS.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento geral e importância do problema.....	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Estrutura do trabalho	2
2. ESTADO DA ARTE	3
2.1 O Eucalipto e a floresta portuguesa.....	3
2.2 Descrição da <i>E. botryoides</i>	5
2.3 Caracterização biométrica das fibras e sua variabilidade.....	7
2.4 Lenho juvenil.....	9
2.5 Massa volúmica	10
2.6 Caracterização mecânica	10
2.6.1 Módulo de elasticidade à flexão estática	11
2.6.2 Compressão axial	14
2.6.3 Dureza Janka	15
2.7 Fio espiralado da madeira	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 Biometria das fibras	19
3.2 Massa volúmica	21
3.3 Caracterização mecânica	21
3.3.1 Módulo de elasticidade à flexão estática	21
3.3.2 Compressão axial	22
3.3.3 Dureza Janka	23
3.4 Fio espiralado da madeira	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Biometria das fibras.	25

4.2 Módulo de elasticidade à flexão estática e massa volúmica	28
4.3 Compressão axial	31
4.4 Dureza Janka	32
4.5 Fio espiralado da madeira	33
5. CONCLUSÕES	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXOS	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das áreas totais por espécie / grupo de espécies em Portugal	4
Figura 2 - Taxa de importação de madeira de por espécie	4
Figura 3 - Exemplar de <i>Eucalyptus botryoides</i> (a) e pormenor das suas folhas (b) e cápsulas (c)	6
Figura 4 - Mesa e secretária construída com madeira de <i>E. botryoides</i>	7
Figura 5 - Ensaio de flexão estática	12
Figura 6 - Representação de um provete sujeito à compressão paralela às fibras (sentido das setas).....	14
Figura 7- Realização do ensaio de dureza Janka	16
Figura 8 - Medição da inclinação do fio	18
Figura 9 - Serração dos troncos de <i>E. botryoides</i>	19
Figura 10 - Esquema da amostragem das fibras dentro da árvore	20
Figura 11 - Elementos dissociados do lenho	20
Figura 12 - Estrutura de ensaio a para medição do módulo de elasticidade à flexão com um ponto de carga central (F)	21
Figura 13 - Provetes de 6 anos ensaiados mecanicamente.....	22
Figura 14 - Provetes de 4 anos com 6 cm de altura prontos a serem comprimidos.....	23
Figura 15 - Medição do fio espiralado de um toro de 6 anos com um riscador para fio.....	24
Figura 16 - Fibras da madeira de <i>E. botryoides</i> com 4 anos de idade (a) e 6 anos (b)	25
Figura 17 - Variação radial do comprimento médio das fibras em <i>E. botryoides</i>	26

Figura 18 - Variação radial da espessura média da parede das fibras da <i>E. botryoides</i>	27
Figura 19 - Ensaio à flexão estática de um provete de 4 anos.....	29
Figura 20 - Provetes de 4 anos (a) e de 6 anos (b) após o ensaio à flexão estática e pormenor da fratura	29
Figura 21 - Provete de 4 anos sujeito à compressão axial.....	32
Figura 22 - Provete de 4 anos sujeito à dureza Janka.....	33
Figura 23 - Toros de <i>E. botryoides</i> com 6 anos de idade com o fio espiralado marcado a vermelho.....	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre os MOE da madeira e de outros materiais e sua massa volúmica.	13
Quadro 2 - Resultados do módulo de elasticidade à flexão para a idade de 4 e 6 anos.....	28
Quadro 3 - Massa volúmica média dos provetes de 4 e 6 anos e sua relação com o MOE.....	30
Quadro 4 - Valores médios da compressão axial para a idade de 4 e 6 anos.....	31
Quadro 5 - Valores médios de dureza Janka para a idade de 4 e 6 anos.....	32
Quadro 6 - Ângulos resultantes da medição do espiralado nos 5 toros de <i>E. botryoides</i> com 6 anos de idade e fração a/b correspondente.....	34

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.1 – Valores médios do comprimento e espessura das fibras das 5 árvores em estudo ao nível do DAP e a 3 posições de raio	48
Anexo 1.2 – Valores de carga de flexão dos 12 provetes de 4 anos e respetivas cargas e flexas de rotura, MOE, resistência de flexão, comprimento, peso e massa volúmica	49
Anexo 1.3 – Valores de carga de flexão dos 10 provetes de 6 anos e respetivas cargas e flexas de rotura, MOE, resistência de flexão, comprimento, peso e massa volúmica	50
Anexo 1.4 – Valores de carga dos provetes de 4 e 6 anos sujeitos à compressão axial e respetivas cargas e tensões de rotura	51
Anexo 1.5 – Valores de carga máxima de penetração da esfera de 11 mm e respetiva dureza Janka nos provetes de 4 e 6 anos	52

1. INTRODUÇÃO

1.1 - Enquadramento geral e importância do problema

O processamento do género *Eucalyptus* como madeira sólida apenas teve início na década de 1990, com o aparecimento de processamentos e utilizações menos tradicionais como pisos laminados e mobiliário (Acosta, 1998). Têm sido publicados diversos trabalhos tentando viabilizar industrialmente a madeira deste género (Acosta, 1998; Menezes, 1998; Del Menezzi, 1999; Carvalho, 2000; Lopes, 2000) e, atualmente, este tem sido usado como madeira serrada em vários países como a Austrália, África do Sul, Chile, Nova Zelândia, Uruguai e Argentina.

Em Portugal, a madeira de *Eucalyptus* não é utilizada como madeira sólida e consequentemente, a investigação tem sido direcionada para a produção de pasta para papel. A diversificação de utilizações e o desenvolvimento de novas aplicações poderá abrir caminho ao estímulo de novas plantações deste género, dando resposta num prazo relativamente curto (25 a 30 anos) a uma parte da procura crescente de madeiras maciças de qualidade produzidas de forma sustentável (Santos, 2010). Para se poder recomendar o investimento em novas plantações com vista à produção de madeira de qualidade, é necessária a compreensão das propriedades da madeira e da influência destas na transformação em produtos fabricados.

A *Eucalyptus botryoides* surge neste contexto como uma espécie de crescimento rápido ainda pouco estudada, mas com potencialidade para substituir madeiras importadas de alto valor comercial para fins sólidos. Este trabalho faz parte do projeto “EucPlus-Novos processos e utilizações para madeira de Eucalipto” (PTDC/AGR-CFL/119752/2010), coordenado pelo Centro de Estudos Florestais.

1.2 - Objetivos

Este trabalho tem como objetivo uma caracterização preliminar de madeira de *Eucalyptus botryoides* com vista a determinar o seu potencial uso como madeira sólida. Para cumprir esse objetivo, foi determinado o comprimento e espessura da parede de fibras do lenho ao nível do DAP (diâmetro à altura do peito), realizados ensaios mecânicos para determinar a resistência da madeira à flexão estática, à compressão paralela às fibras e a sua dureza Janka, e por último, foi analisado o fio espiralado da madeira.

1.3 - Estrutura do trabalho

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos:

O capítulo 1 faz um enquadramento geral do problema e apresenta os objetivos do trabalho.

O capítulo 2 trata do estado da arte, onde se analisa o género Eucalipto e a floresta portuguesa, descreve-se a espécie *Eucalyptus botryoides* evidenciando o uso como madeira sólida, são abordados aspetos sobre a caracterização biométrica das fibras, e faz-se uma caracterização da massa volúmica, caracterização mecânica, e do fio espiralado da madeira.

O capítulo 3 é referente à parte experimental do trabalho. É caracterizado o local de amostragem relativamente aos aspetos geográficos, climáticos e litológicos e é descrita a metodologia utilizada.

O capítulo 4 apresenta e discute os resultados experimentais em relação à caracterização do comprimento e espessura das fibras, massa volúmica, caracterização mecânica (módulo de elasticidade à flexão estática, compressão axial e dureza Janka), e análise do fio espiralado.

O capítulo 5 apresenta as conclusões gerais do trabalho.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 - O Eucalipto e a floresta portuguesa

Quase todas oriundas da Austrália e Tasmânia, existem mais de 600 espécies e variedades dentro do género *Eucalyptus* em todo o mundo, das quais apenas cerca de 12 apresentam interesse económico (Acosta *et al.*, 2008). Segundo os autores, dentro destas espécies com interesse económico destacam-se a *E. grandis* (e o seu híbrido “*urograndis*”), *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. viminalis*, *E. nitens*, *E. saligna* e a *E. urophylla*, apesar de atualmente a *E. grandis* e a *E. globulus* serem as plantações de rápido crescimento mais comuns.

A nível mundial, o género *Eucalyptus* foi inicialmente plantado apenas para fins celulósicos e energéticos, não se dando muita atenção à qualidade da madeira; para além disso, elevadas densidades de plantação não favoreciam grandes diâmetros das árvores (Acosta, 1998).

Em Portugal, a expansão da cultura destas árvores deu-se com a espécie *Eucalyptus globulus* na segunda metade do século XX, devido à sua grande produtividade, facilidade de cultivo e elevada qualidade para pasta para papel (Pereira, 2007). Apesar da utilização desta espécie ir pouco além da fabricação de pasta para papel, estudos já realizados com *Eucalyptus globulus* revelaram que esta possui potencial para muitas utilizações como madeira maciça, nomeadamente pavimentos e aplicações estruturais (Santos e Pinho, 2004; Santos *et al.* 2008).

A floresta portuguesa ocupa cerca de 3,2 milhões de hectares, correspondendo a 35,4% do território (ICNF, 2013a). O género *Eucalyptus*, principalmente a espécie *E. globulus*, é a principal ocupação florestal do Continente em área (812 mil ha), seguida do Sobreiro (*Quercus suber*) (737 mil ha) e Pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) (714 mil ha) (Figura 1). A área total deste género aumentou 13% entre 1995 e 2010, principalmente à custa de uma menor ocupação de área de Pinheiro-bravo, matos e pastagens e áreas agrícolas (ICNF, 2013a).

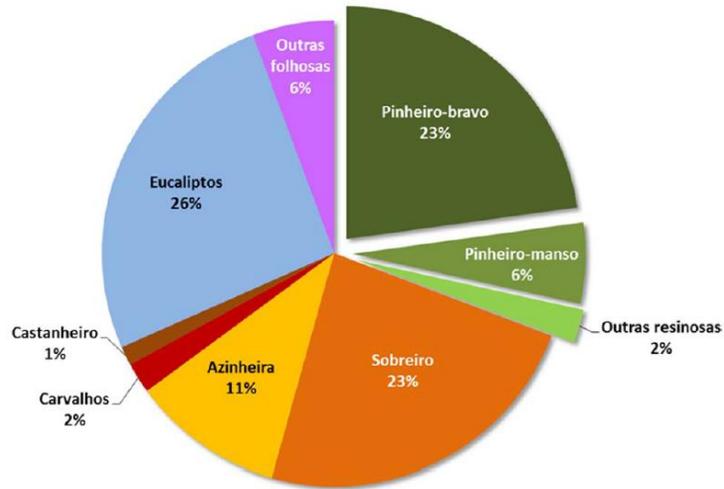


Figura 1 - Distribuição das áreas totais por espécie / grupo de espécies em Portugal (ICNF, 2013a).

Apesar de Portugal ser um dos países mais arborizados da Europa, a produção florestal nacional não é suficiente em qualidade e quantidade para a indústria. Nos últimos anos, a indústria tem enfrentado um sério défice de abastecimento, que tem sido suprido com recurso a grandes importações de madeira (Figura 2).

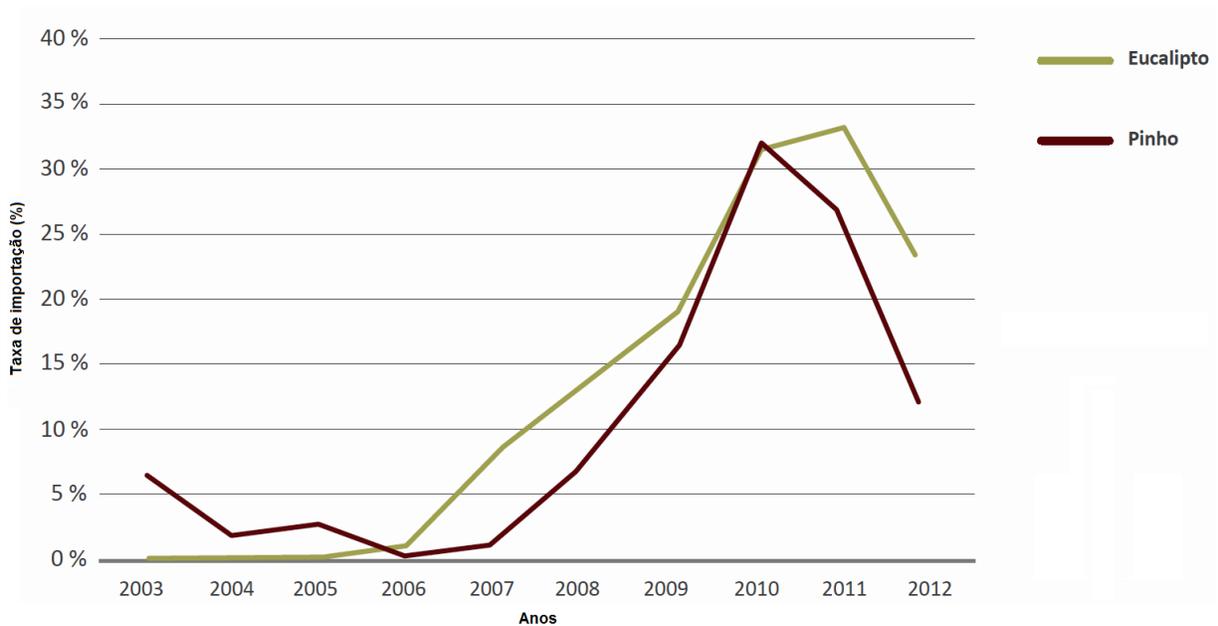


Figura 2 - Taxa de importação de madeira de por espécie (Adaptado de CELPA, 2012).

É necessário promover o aumento da oferta de madeira, sendo a *Eucalyptus botryoides* uma espécie com grande potencial de substituição de espécies tradicionalmente utilizadas em certos usos ou de importação de espécies de alto valor comercial.

2.2 - Descrição da *Eucalyptus botryoides*

Na Bacia do Mediterrâneo, Portugal é o país que oferece as melhores condições edafo-climáticas à *E. botryoides*, existindo exemplares de grande porte nomeadamente no Arboreto da Quinta do Eixo, Mata Nacional do Choupal, Mata Nacional do Urso e no Arboreto da Mata Nacional do Escaroupim, que comprovam a boa adaptabilidade da espécie (Goes, 1977). Ainda no século passado, esta espécie chamou a atenção pelo seu bom desenvolvimento no país e foi fomentada através da doação de 130000 plantas pelos Serviços Florestais na campanha de 1957-1958.

Atualmente e conforme a lista de espécies arbóreas florestais utilizáveis em Portugal (ICNF, 2013b), esta espécie pertence às espécies não indígenas com interesse para arborização e tem uma ocorrência frequente no nosso país de acordo com a sua ocorrência em espaços silvestres, parques florestais, grandes parques urbanos e arborizações especiais (ocorrem disseminadas em diversos tipos de formações em várias regiões do país).

Originário do sudeste australiano, a *Eucalyptus botryoides*, caracteriza-se por um porte elevado nas melhores condições ecológicas, atingindo mais de 40 metros no nosso país. Apresenta um fuste direito e uma copa com uma folhagem densa e muito verde (Figura 3) e é bastante resistente ao ambiente salino, sendo utilizada na Austrália para cortinas contra os ventos junto à costa (Goes, 1977). Em Portugal, foi utilizada no litoral no Concelho de Odemira com essa finalidade, tendo-se adaptado muito bem a solos mal drenados e salinos.

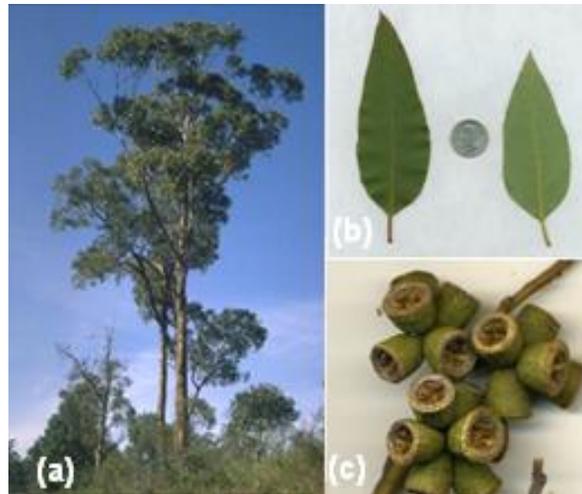


Figura 3 - Exemplar de *Eucalyptus botryoides* (a) e pormenor das suas folhas (b) e cápsulas (c)

(http://www.chah.gov.au/images/photo_cd/10300906/027.html;

http://www.australiaplants.com/e_botryoides_leaves2.jpg; <http://trees.stanford.edu/images/Eucalyptus/EUCbo01.jpg>).

Prefere solos arenosos pobres em nutrientes (Johnson e Burchett, 1996), baixas altitudes (até 300 metros) e valores de pluviosidade na ordem dos 700-1300 mm (Boland *et al.*, 2006). Segundo Bertola (2004), a espécie não é recomendada para regiões onde ocorrem a geadas e défice hídrico e apresenta boa capacidade de regeneração por talhadia.

A madeira deste Eucalipto foi descrita por Goes (1977) como uma madeira de cor castanho-clara a vermelha, parecida à madeira de mogno sendo por isso a espécie também denominada de “mogno bastardo”. Segundo o autor, a madeira é dura, resistente e pesada e com um peso específico de 1100 kg/m^3 após o abate e 600 kg/m^3 quando seca.

A *E. botryoides* começou por ser tradicionalmente usada em travessas de linhas de comboio e em postes no seu país de origem. Atualmente, que largas aplicações tanto de interiores como exteriores, desde armários, móveis, contraplacado e folheado (elementos estruturais e painéis), revestimento de pisos, torneados e construção naval (Carvalho, 1997) (Figura 4).



Figura 4 - Mesa e secretária construída com madeira de *E. botryoides*

(http://www.woodworkforums.com/attachments/f108/156409d1292888593-office-furniture-completed-dsc_5710.jpg).

Nos restantes países, como no caso de Portugal, o uso desta espécie como madeira serrada ainda não é muito comum devido à falta de informação, defeitos da madeira e/ou maior disponibilidade de outras espécies (Lima, 2005).

2.3 - Caracterização biométrica das fibras e sua variabilidade

Em estudos relacionados com a resistência da madeira é essencial ter em conta os elementos lenhosos responsáveis pela função de suporte da árvore, as fibras, que ocupam grande parte do xilema nas folhosas (Evert, 2006) e no género *Eucalyptus* representam cerca de 65% do tecido da madeira (Trugilho *et al.*, 1996). A dimensão das fibras como o comprimento e a espessura de parede é muito importante, uma vez que se relacionam com as propriedades físicas e mecânicas da madeira (Zobel e Buijtenen, 1989).

Desde há muito que são estudadas as fibras no género *Eucalyptus* (Dadswell, 1972; Bamber 1985; Wilkes 1988) e em espécies com interesse económico como o *E. globulus* (Jorge, 1996; Jorge *et al.*, 2000; Monteoliva *et al.*, 2002; Monteiro, 2003; Miranda *et al.*, 2003; Quilhó *et al.*, 2006) embora na literatura as referências para o comprimento e a espessura da parede das fibras do *E. botryoides* sejam escassas (Dadswell, 1972; Bufolo *et al.*, 2009).

O comprimento das fibras e a espessura da parede das fibras tem sido estudado principalmente na espécie *E. globulus*, tendo sido determinado por diversos autores (Monteoliva *et al.*, 2002; Monteiro, 2003; Miranda *et al.*, 2003). O comprimento médio das fibras para esta espécie raramente excede o valor de 1,10 mm e os valores mais baixos localizam-se próximos da medula, com 0,59 mm (Tomazello Filho, 1987) e os mais elevados na periferia com 1,58 mm (Villegas e Rivera, 2002). Na determinação da espessura da parede das fibras foram obtidos valores máximos de 6,6 μm para a espécie *E. globulus* (Miranda e Pereira, 2002) e valores mínimos de 1,8 μm (Jorge, 1994).

Sette *et al.* (2012), na *E. grandis* com 4 e 6 anos encontrou valores médios de comprimento de 0,87 mm e 0,91 mm e uma espessura média da parede das fibras de 2,5 μm e 3,5 μm respetivamente. Em híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* com 7 anos, Carvalho (2000) observou comprimentos médios de 1,08 mm e uma espessura média da parede das fibras de 4,2 μm .

Têm sido realizados muitos trabalhos em várias espécies sobre a variabilidade anatómica das fibras dentro da árvore, tanto do centro para a periferia (variação radial) como em altura (variação axial) (Bisset e Dadswell, 1949; Zobel e Buijtenen, 1989).

No género *Eucalyptus*, a variação radial da árvore é determinada em posições radiais em proporção do raio, dada a não definição de anéis de crescimento (Pereira *et al.*, 2010). Segundo os autores, o comprimento das fibras e a espessura da parede das mesmas no neste género segue um padrão de variação radial aumentando da medula para a casca, sendo as fibras de maior comprimento e espessura de parede resultantes de células cambiais mais velhas.

Esse mesmo padrão foi verificado por Rocha *et al.* (2002) ao estudarem a variação da estrutura anatómica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 7 anos de idade, e resultados semelhantes foram obtidos por Sette *et al.* (2009) ao caracterizarem a madeira da mesma espécie.

Noutros trabalhos efetuados sobre a variação radial do comprimento das fibras de várias espécies de *Eucalyptus* (Hillis, 1978; Bhat *et al.*, 1990; Veenin *et al.*, 2005; Sharma *et al.*, 2005), o maior acréscimo na variação radial ocorreu em *E. deglupta*, onde o comprimento das fibras aumentou de 0,45 mm para 1,6 mm.

2.4 - Lenho juvenil

O lenho juvenil é uma das principais fontes de variabilidade das características da madeira dentro da árvore. A madeira juvenil corresponde a uma região central na árvore de forma cilíndrica, com diâmetro mais ou menos uniforme, estendendo-se desde a base até o topo da árvore (Krahmer, 1986; Zobel e Buijtenen, 1989; Cown, 1992; Evans *et al.*, 2000).

Segundo Ramsay e Briggs (1986), a madeira juvenil é o xilema secundário, formado durante a fase jovem do câmbio vascular da árvore (estádios iniciais da vida da árvore). Palma *et al.* (2010) ressaltam que a proporção de madeira juvenil existente numa árvore é uma característica que depende fundamentalmente da idade da árvore, de condições ambientais e da gestão efetuada. O início de formação de lenho adulto após o lenho juvenil ocorre ao fim de um determinado tempo que é muito variável com a espécie e as condições de desenvolvimento da árvore, sendo de 5 a 10 anos os valores mais frequentes para as nossas espécies portuguesas (Santos, 2007).

De forma geral, a madeira juvenil de uma folhosa caracteriza-se por menor densidade, maior ângulo das microfibrilas na camada S2 da parede celular, vasos e fibras mais curtas, maior proporção de fibras e menor proporção de vasos, contração transversal menor e maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor percentagem de lenho fim de estação, paredes celulares mais finas, maior teor relativo de hemicelulose e menor teor relativo de celulose, elevados teores relativos de lenhina e menor resistência em relação à madeira adulta (Bendtsen, 1978; Zobel, 1984; Lima, 2005; Palma *et al.*, 2010). A madeira adulta, por sua vez, apresenta características anatómicas preferíveis para fins sólidos em relação à madeira juvenil, como por exemplo, maior comprimento das fibras e menor ângulo microfibrilar da camada S2 da parede celular, apresentando assim, melhor estabilidade e menor propensão a defeitos na secagem e no processamento mecânico.

Para utilizações da madeira em carpintaria e mobiliário, a madeira de lenho juvenil apresenta alguns inconvenientes, como empenos mais acentuados devido a uma maior retração axial, menor durabilidade natural e menor resistência mecânica. Apesar destes inconvenientes, em muitos casos tem de se aceitar este tipo de material, reconhecendo e aprendendo a solucionar os seus defeitos, pois com a tendência da utilização de rotações cada vez mais curtas na exploração florestal, cada vez aparecerá em maior quantidade (Santos, 2007).

2.5 - Massa volúmica

A densidade ou massa volúmica é uma propriedade física da madeira fortemente correlacionada com outras características gerais da mesma, permitindo obter informação nomeadamente acerca da sua resistência mecânica (geralmente densidades maiores correspondem a maior resistência mecânica) (Evans *et al.*, 2000; Lobão *et al.*, 2004; Santos, 2010).

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), a massa volúmica aumenta rapidamente em função da idade durante o período juvenil, após o que se verifica um aumento mais ligeiro até atingir a maturidade, altura em que permanece mais ou menos constante. A madeira de lenho tardio apresenta portanto uma massa volúmica maior que a do lenho juvenil. Esses mesmos autores afirmaram que a variabilidade da maior parte das propriedades mecânicas da madeira pode ser estimada com base na variação da densidade. Isso pode ser explicado devido ao fato de as propriedades de resistência à flexão estática e o seu módulo de elasticidade estarem correlacionados com a densidade, a qual, por sua vez, também está correlacionada com as dimensões das células.

Estando extremamente dependente do teor de água da madeira, a massa volúmica deve ser calculada a 12% de teor de água. Foi estudada por Santos (2010) na *Eucalyptus botryoides*, tendo registado um valor médio de massa volúmica de 812 kg.m^{-3} numa árvore adulta que, de acordo com a classificação desenvolvida por Carvalho (1996), é considerada pesada. Foi também estudada por Knapic *et al.* (2014) numa árvore de 4 anos da mesma espécie pelo método de microdensitometria, onde foi obtido um valor médio de densidade de 618 kg.m^{-3} .

2.6 - Caracterização mecânica

Para caracterizar a madeira quanto ao seu comportamento mecânico é necessário realizar vários ensaios laboratoriais baseados nos procedimentos definidos em normas (nacionais, europeias e outras). Estes ensaios têm o objetivo de reproduzir as condições em que os elementos estruturais se encontram durante a sua utilização. A madeira de obra (vigas, colunas, estruturas) suporta uma determinada carga que é geralmente solicitada por três tipos de esforço: tração, compressão e flexão.

As propriedades mecânicas da madeira são influenciadas por diversos fatores, sendo os mais importantes a posição na árvore, a humidade, o tempo de duração da carga e a estrutura da madeira (Pfeil e Pfeil, 2003). Evans *et al.* (2000) e Lobão *et al.* (2004) mencionam que as propriedades mecânicas da madeira são dependentes, principalmente, da densidade básica, da percentagem de madeira juvenil, da intensidade ao ataque de insetos e da presença de nós. Pearson e Gilmore (1980) verificaram que a idade da árvore pode proporcionar alterações nas propriedades mecânicas da madeira, e que em árvores mais jovens as propriedades mecânicas são geralmente menores.

Em relação às espécies de Eucalipto, a maioria das suas madeiras possui um enorme potencial do ponto de vista de abastecimento de matéria-prima para os diferentes setores madeireiros. Oliveira (1997) citou que o género *Eucalyptus* não apresenta restrições quanto à resistência mecânica, que pode variar de baixa a muito elevada.

2.6.1 - Módulo de elasticidade à flexão estática

A resistência à flexão é uma das características mais exigentes para materiais estruturais, pois as aplicações estruturais em que está presente são as mais diversas como acontece em coberturas de edifícios, suportes de pisos e pontes, e sempre que se tem de vencer a força da gravidade e se dispor de uma área livre debaixo de apoios pontuais (Santos, 2007). Segundo o autor, a análise da flexão deve ser feita com vista à obtenção da maior capacidade de suporte possível com material mais leve possível, pois esta relação tem uma grande importância no peso total sobre a estrutura de apoio e nos respetivos custos. Assim, a madeira desempenha um papel fundamental pois é um dos materiais que apresenta melhor relação entre a capacidade de suportar carga e o seu peso próprio, mesmo em comparação com materiais de engenharia modernos (fibras de carbono e seus compósitos). Na prática, as flexões ocorrem devido à aplicação de situações de carga muito diversas, como cargas uniformemente distribuídas, uma ou várias cargas pontuais de valores iguais ou diferentes, ou através de combinações com outros esforços.

A flexão é um dos métodos mais simples e informativos para estudar as propriedades mecânicas da madeira e pode ser analisado através do comportamento do módulo de elasticidade (MOE). O módulo de elasticidade é a medida da flexibilidade ou rigidez de um material que permite determinar a potencialidade da madeira como elemento estrutural. É uma

das mais importantes propriedades mecânicas da madeira para fins sólidos e tem sido muito estudado nos últimos anos devido ao aumento do uso de plantações de rápido crescimento, que contêm grandes quantidades de lenho juvenil com propriedades mais fracas (MOE) para madeira maciça (Yang e Evans, 2003). Quanto maior é o valor do módulo de elasticidade, maior é a rigidez do material (Carvalho, 1996).

A elasticidade é uma característica positiva da madeira como material estrutural, pois contribui para uma boa distribuição de cargas e funciona como aviso de uma aproximação a cargas excessivas. Por outro lado a aparência de deformações contribui para uma desvalorização do ponto de vista estético (Santos, 2010). Segundo o autor, a madeira apresenta em geral uma elasticidade bastante elevada quando comparada com outros materiais, possuindo um elevado grau de deformação antes de ceder mecanicamente e mantendo um bom nível de recuperação relativamente à sua forma e/ou dimensões iniciais.

A determinação do MOE é efetuada laboratorialmente, onde são registados ao longo do ensaio (Figura 5), em intervalos pequenos, os pares de valores correspondentes à carga aplicada e correspondente deformação provocada. Para a caracterização de componentes estruturais utiliza-se a flexão a "quatro pontos" (dois apoios e dois pontos de carga), mas para caracterização de propriedades de materiais as normas definem a flexão a "três pontos", dando como resultado o MOE. Este ensaio pode ser realizado com provetes de reduzida seção, o que permite avaliar a propriedade a nível bastante localizado, para compreender a variação do comportamento mecânico ao longo da direção radial do lenho.

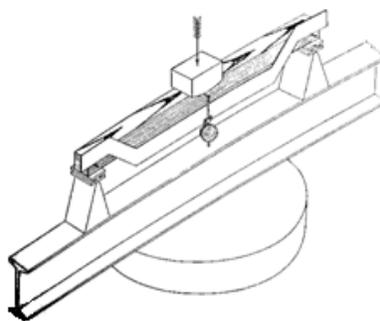


Figura 5 - Ensaio de flexão estática (Carvalho, 1996).

Para os cálculos de determinação do módulo de elasticidade foram seguidos os procedimentos e método de cálculo definido na norma Europeia EN 408:2003, ($E_{m,app}$) através da expressão:

$$E_{m,app} = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{48 I (w_2 - w_1)}$$

Onde: l_1 é a distância entre apoios (mm); $(F_2 - F_1)$ é um aumento de carga no limite de proporcionalidade (N); I é o momento de inércia (mm⁴); $(w_2 - w_1)$ é o aumento de deformação correspondente a $(F_2 - F_1)$ (mm).

Existem valores definidos para o MOE para madeiras de inúmeras espécies. Esses valores apresentam-se na ordem dos 9100 MPa em coníferas e 11650 MPa em folhosas (Tsoumis, 1991). Apesar de o aço de construção apresentar valores na ordem dos 207 000 MPa e o alumínio laminado na ordem dos 69 000 MPa, a madeira maciça é um material estrutural competitivo mesmo em comparação com produtos estruturais de alta tecnologia devido aos baixos valores da sua massa volúmica (Quadro 1).

Quadro 1 – Relação entre os MOE da madeira e de outros materiais e sua massa volúmica (Adaptado de Tsoumis, 1991).

Material	Massa volúmica (kg/m ³)	MOE (MPa)	MOE / massa volúmica
Madeira de conífera	440	9 100	20,68
Madeira de folhosa	870	11 650	13,39
Betão armado	2500	13 800	5,52
Alumínio	2800	69 000	24,64
Ferro fundido	7000	82 800	11,83
Aço	7900	207 000	26,20
PVC	1300	5 800	4,46
Poliestireno	1000	3 450	3,45

A maioria dos trabalhos que determinam as propriedades mecânicas da madeira no género *Eucalyptus* dizem respeito a árvores adultas (10-40 anos), sendo um pouco escassa essa informação relativamente a árvores jovens.

Segundo estudos, a madeira adulta da *Eucalyptus botryoides* apresenta valores para o módulo de elasticidade de 15450 MPa (Celesc, 1994). Em Portugal, Santos (2010) determinou para

uma árvore de 35 anos de idade da região centro do país o valor médio de 16015 MPa, não tendo sido encontrados outros valores para esta espécie em árvores mais jovens.

Dentro do género *Eucalyptus*, Acosta (1998) estudou o módulo de elasticidade à flexão estática em árvores de *E. grandis* de 12 e 18 anos de idade, e encontrou valores médios na ordem dos 9835 MPa. Esse mesmo autor estudou ainda plantações de *E. grandis* e *E. dunnii* na idade normal de abate comercial (12-14 anos), e verificou valores médios de MOE à flexão estática na ordem dos 9644 MPa para a *E. grandis* e 11385 MPa para a *E. dunnii*.

Santos *et al.* (2008) estudaram o módulo de elasticidade da espécie *E. globulus* com 6 anos de idade, e verificam um valor médio de 13466 MPa.

O módulo de elasticidade à flexão estática foi também estudado em plantações mais jovens de clones de Eucalipto por Cruz *et al.* (2003), com idades compreendidas entre os 5,5 e 10,5 anos e com resultados a variar entre os 8768 MPa e os 19670 MPa. Padilha *et al.* (2005) e Lima *et al.* (1999) também estudaram o MOE em clones de Eucalipto com 8 anos de idade e obtiveram valores a variar entre os 6139 e 7576 MPa e entre os 7660 e 8338 MPa, respetivamente.

2.6.2 - Compressão axial

Num ensaio de compressão axial, os provetes de madeira são submetidos à compressão paralela à direção das fibras (Figura 6) até romperem, sob a ação de uma força crescente aplicada continuamente até cedência do material.

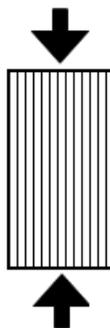


Figura 6 - Representação de um provete sujeito à compressão paralela às fibras (sentido das setas).

Quando comparada com metais, a madeira apresenta uma resistência à compressão axial menor, no entanto, esta propriedade é muito importante em componentes de longo

comprimento (prumos e colunas), com vantagem enorme sobre outro tipo de materiais estruturais, como por exemplo o tijolo e a pedra, que pela sua fragilidade não garantem segurança neste tipo de solicitação mecânica.

Os ensaios de determinação da compressão axial podem ser realizados segundo o procedimento definido na norma americana ASTM D 143 que utiliza provetes de grandes dimensões, ou segundo a norma europeia mais recente EN 408:2003 que não define uma determinada dimensão.

A compressão axial no lenho adulto de *Eucalyptus botryoides* foi determinada por Santos (2010) numa árvore com cerca de 35 anos de idade da região centro do país e o seu valor médio foi de 62,5 MPa.

Acosta *et al.* (2008) estudaram a compressão axial em *E. grandis* e *E. dunnii* com uma idade compreendida entre os 12 e 14 anos, e obtiveram valores médios de 33,5 e 32,4 MPa respetivamente. Santos *et al.* (2008) estudaram a compressão axial da *E. globulus* com 6 anos de idade, e verificam um valor médio de 53,6 MPa.

Em plantações jovens de clones de Eucalipto com idades compreendidas entre os 5,5 e 10,5 anos, Cruz *et al.* (2003) verificou que a compressão axial variava entre os 40,0 e os 52,0 MPa. Padilha *et al.* (2005) e Lima *et al.* (1999) estudaram também a compressão axial clones de Eucalipto com 8 anos de idade e obtiveram valores a variar entre 45-57 MPa e 42-45 MPa, respetivamente, enquanto Gonçalves *et al.* (2009) em clones de *E. urophylla* x *E. grandis* com 6 anos de idade encontraram valores entre 49,8 e 55,2 MPa.

2.6.3 - Dureza Janka

A dureza é uma propriedade físico-mecânica da madeira que caracteriza a suscetibilidade de penetração de corpos estranhos à sua massa e o seu comportamento ao desgaste. A dureza apresenta uma forte correlação com a densidade e dificuldade de laboração, ou seja, madeiras mais duras são, em geral, mais pesadas e difíceis de trabalhar (Carvalho, 1996).

Esta propriedade pode ser determinada de várias maneiras. A dureza Janka consiste na determinação da resistência à penetração estática de uma esfera de 11,28 mm de diâmetro até ao seu equador (Carvalho, 1996) (Figura 7).

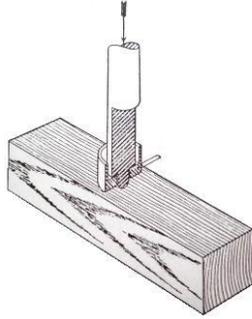


Figura 7- Realização do ensaio de dureza Janka (Carvalho, 1996).

Os métodos de penetração de pequenas esferas na madeira são definidos nas normas ASTM D 143 e na norma Inglesa B.S. 373:1957. Uma variação destes métodos de avaliação da dureza encontra-se definida na norma para revestimentos de piso EN 1534, a que chamam dureza Brinell. A diferença está essencialmente na forma de apresentação das unidades finais. A dureza Brinell é apresentada em unidades de pressão (tensão), tendo em conta a força de penetração da esfera e o seu diâmetro o que permite utilizar este valor para cálculo estrutural em aplicações concretas de indentação de outros componentes na própria madeira.

Segundo estudos efetuados, a madeira adulta de *Eucalyptus botryoides* apresenta valores médios de dureza Janka de 74,9 MPa (Celesc, 1994). Em Portugal, Santos (2010) determinou para uma árvore de 35 anos de idade o valor médio de dureza de 64,2 MPa.

Dentro do género *Eucalyptus*, Acosta (1998) estudou a dureza Janka em árvores de *E. grandis* e *E. dunnii* na idade normal de abate comercial (12-14 anos), e verificou valores médios na ordem dos 28,0 MPa para a *E. grandis* e 38,4 MPa para a *E. dunnii*. A dureza Janka foi também estudada em 7 clones de Eucalipto de 8 anos de idade por Padilha *et al.* (2005) e obtiveram valores de dureza entre os 42,9 e os 59,6 MPa. Na espécie *E. globulus* foi estudada por Santos *et al.* (2008), com valores médios de dureza de 31,8 MPa.

2.7 - Fio espiralado da madeira

A qualidade tecnológica da madeira é influenciada pela presença no tronco de zonas de heterogeneidade ou de defeitos, que alteram as suas propriedades (Pereira *et al.*, 2010). Deste modo, é essencial a caracterização dos defeitos da madeira que comprometam a sua qualidade em posteriores utilizações.

O fio espiralado da madeira é um conceito geométrico relativo à direção preferencial das fibras, que se dá quando os elementos fibrosos se distribuem em espiral, ou mais propriamente em hélice, em relação ao eixo da árvore (Santos, 2007). Segundo Carvalho (1996), as suas causas principais podem ser específicas ou genéticas, mas também podem ser devido à condução cultural do povoamento (excessiva densidade leva a movimentos rotacionais da copa consoante a disponibilidade de luz). A assimetria da copa em conjunto com os ventos dominantes poderá também ter influência na formação do fio espiralado, assim como o rápido crescimento de algumas árvores (Pereira *et al.*, 2010).

O fio da madeira pode ter uma inclinação positiva ou negativa consoante tender para a direita ou esquerda, respetivamente. Esta poderá ser determinada pela direção predominante do vento (Eklund e Säll, 2000).

Esta característica do fio torna a laboração extremamente difícil, afetando a resistência mecânica das peças e consumindo uma maior potência e dificulta a secagem originando deformações, empenos helicoidais acentuados e fendimentos (Carvalho, 1996).

A inclinação do fio é determinada através de uma ferramenta designada por riscador, onde o seu valor é medido sobre um comprimento razoavelmente grande para que se possa determinar a inclinação com o menor erro possível, tendo-se em consideração a área com maior desvio. Segundo Negrão e Faria (2009), a inclinação do fio de madeira para qualquer espécie é expressa como fração de a/b , tal como se mostra na Figura 8. Este método avalia a inclinação numa unidade de $1:x$, isto é, ficamos a saber o desvio em comprimento x quando se avança uma unidade. Na Figura 8, verifica-se assim um desvio de 1 cm em cada 8 cm de comprimento.

Uma vez que tanto na Europa como nos Estados Unidos da América as espécies para uso estrutural são resinosas, as normas de classificação de madeira serrada para estruturas apenas dizem respeito a resinosas. Uma destas normas é a norma de classificação de madeira serrada de Pinheiro-bravo para estruturas NP 4305, onde os desvios máximos admissíveis da direção do fio são de $1/6$. Este valor pode ser adaptado para outras espécies como as do género *Eucalyptus*.

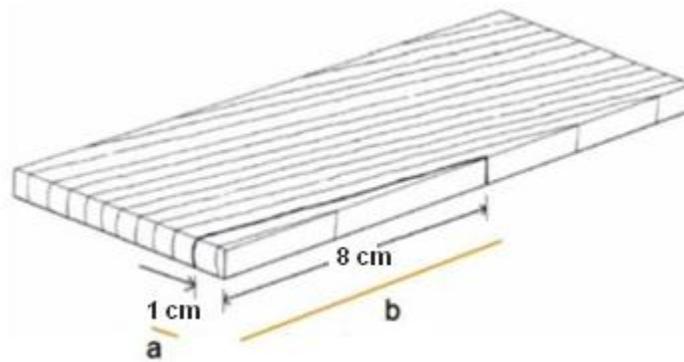


Figura 8 - Medição da inclinação do fio (Adaptado de Negrão e Faria, 2009).

Segundo Carvalho (1996), o fio espiralado é bastante frequente em folhosas de crescimento rápido como a *E. globulus*, bem como no Pinheiro-bravo. No género *Eucalyptus*, este defeito não tem sido muito estudado, apesar das suas consequências nefastas na qualidade da madeira e conseqüente depreciação das madeiras nas indústrias de serração (Pereira *et al.*, 2010). Em árvores de *E. dunnii* com 9 anos, o ângulo do fio espiralado foi em média - $0,33^\circ$ (desvio à esquerda), e mostrou tendência a aumentar com a assimetria da copa (Thinley *et al.*, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram analisadas amostras de lenho juvenil de *Eucalyptus botryoides*, cujas sementes, originárias da Austrália, foram plantadas em Fevereiro de 2007 em compassos 3x3 no Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, localizado na Tapada da Ajuda, Lisboa, Portugal (38°42'N; 09°10'W). Esta região está sob a influência de um clima mesotérmico húmido, caracterizado por uma época seca no Verão de Junho a Agosto com temperaturas superiores a 10°C no mês mais frio e iguais ou inferiores a 22°C no mês mais quente. O solo é classificado como Vertissolo, apresentando uma textura fina ou média fina derivada de tufos ou basaltos, frequentemente com calcário nos horizontes inferiores, ou de rochas calcárias. As árvores não foram fertilizadas.

Foram abatidas 5 árvores de *Eucalyptus botryoides*, 2 delas no ano de 2011 com 4 anos de idade, e as restantes 3 no ano de 2013 com a idade de 6 anos. As árvores foram descascadas e serradas numa máquina universal de corte (Figura 9).



Figura 9 - Serração dos troncos de *E. botryoides*.

3.1 - Biometria das fibras

As amostras analisadas na caracterização das fibras foram obtidas das 5 árvores abatidas de *Eucalyptus botryoides*. A medição do comprimento e espessura das fibras foi realizada em todas as árvores ao nível do DAP, a 30%, 60% e 90% do raio, da medula para a periferia respetivamente (Figura 10).

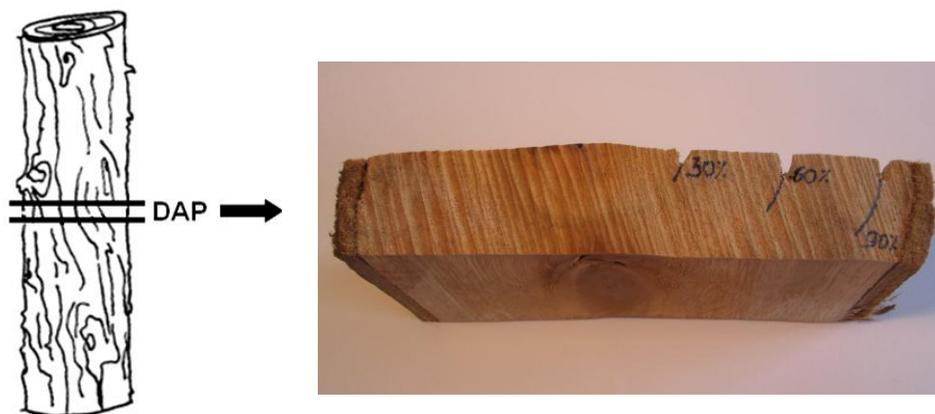


Figura 10 - Esquema da amostragem das fibras dentro da árvore.

De modo a se efetuarem as medições dos comprimentos e espessuras de fibras do lenho juvenil das 5 árvores, foram preparados elementos dissociados do lenho.

Com o auxílio de um x-ato, foram cortadas estilhas de madeira a 30%, 60% e 90% do raio ao nível do DAP. Essas estilhas foram colocadas em pequenos frascos de vidro, previamente etiquetados e identificados. A cada frasco foi adicionado uma mistura de água oxigenada e ácido acético (partes iguais) que, depois de tapados com folha de alumínio, foram colocados na estufa a 60°C durante 48 horas. Em seguida, o material foi lavado com água destilada e armazenado em álcool a 70% (Figura 11).

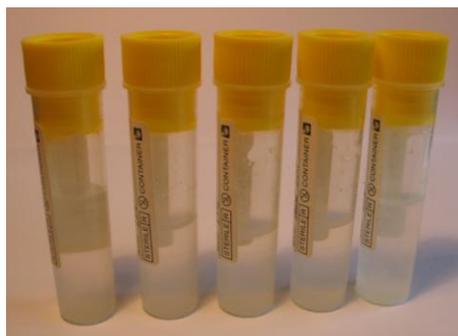


Figura 11 - Elementos dissociados do lenho.

Preparados os elementos dissociados, foram medidas o comprimento e espessura da parede de 40 fibras de cada um dos frascos com o material dissociado, no programa LAS V4.2. O comprimento das fibras foi medido com a objetiva 4x e a espessura das fibras foi medida com a objetiva 20x.

3.2 - Massa volúmica

A massa volúmica foi calculada em provetes de 4 e 6 anos de idade, onde a massa foi determinada por pesagem e o volume foi determinado pela medição das dimensões dos provetes de madeira.

3.3 - Caracterização mecânica

Para a realização dos ensaios à flexão estática, compressão axial e dureza, os troncos da madeira juvenil foram serrados numa serra de disco. Os ensaios foram realizados no LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) em ambiente controlado de temperatura e humidade relativa. Os procedimentos foram realizados segundo normas europeias ou nacionais.

3.3.1 - Módulo de elasticidade à flexão estática

Na determinação do módulo de elasticidade e devido à reduzida dimensão das amostras, foi efetuada uma adaptação do procedimento definido para o módulo aparente de elasticidade da norma EN 408 (*European standard for structural timber and glued laminated timber*), onde foi apenas aplicado um ponto de carga central (Figura 12).

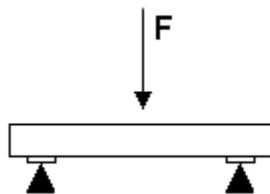


Figura 12 - Estrutura de ensaio a para medição do módulo de elasticidade à flexão com um ponto de carga central (F).



Figura 14 - Provetes de 4 anos com 6 cm de altura prontos a serem comprimidos.

3.3.3 - Dureza Janka

O último ensaio mecânico realizado foi a dureza Janka. Entre os vários métodos de avaliação da dureza foi escolhida uma adaptação ao método definido na norma americana ASTM D 143 por ser um método baseado na penetração de uma esfera pequena até metade do seu diâmetro numa face da peça de madeira, o que produz informação útil quanto à potencialidade de utilização das madeiras em pavimentos, ou outras utilizações que sofram fortes cargas concentradas numa reduzida área.

Para a realização deste ensaio, foram serrados provetes 12 provetes de 4 anos e 10 provetes de 6 anos de idade com dimensões de 6x2x2 cm. O ensaio foi realizado com uma esfera de 11 mm de diâmetro e os provetes foram penetrados até 5,5 mm numa das suas faces. Apenas foram ensaiados 6 provetes com a idade de 6 anos, devido aos restantes 4 provetes se encontrarem demasiado deformados para o ensaio.

3.4 - Fio espiralado da madeira

O fio espiralado da madeira foi analisado macroscopicamente em troncos de 4 e 6 anos de idade. Uma vez que os toros de 4 anos não apresentaram indícios da sua presença, o fio espiralado foi apenas medido em troncos de 6 anos de idade.

Para a determinação deste defeito da madeira, 5 troncos de 6 anos foram previamente descascados, numerados e a orientação do fio analisada macroscopicamente. Escolheu-se a

zona com maior espiralado para a medição com o riscador para fio em cada tronco (Figura 15). O ângulo do fio espiralado foi medido com um transferidor e posteriormente foi calculada a fração a/b segundo o método descrito anteriormente por Negrão e Faria (2009) (Figura 8).



Figura 15 - Medição do fio espiralado de um toro de 6 anos com um riscador para fio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Biometria das fibras

Na Figura 16 estão representadas as fibras da madeira de *E. botryoides* com 4 e 6 anos, respectivamente.

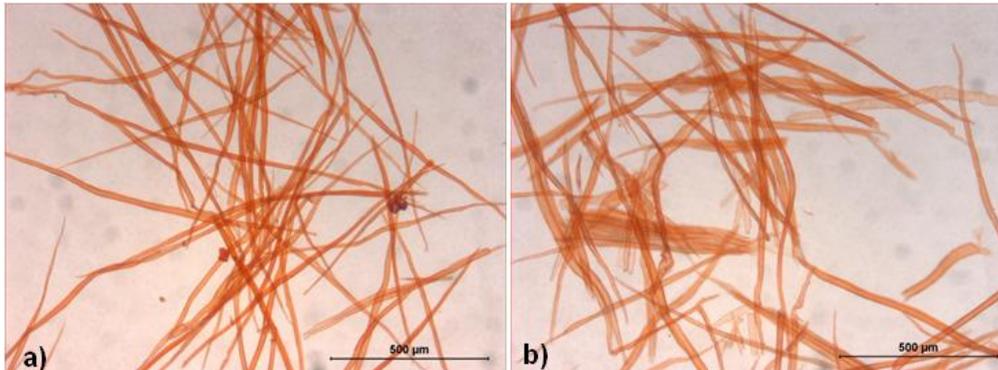


Figura 16 - Fibras da madeira de *E. botryoides* com 4 anos de idade (a) e 6 anos (b).

Para a idade de 4 anos o comprimento das fibras apresentou um valor médio de 0,776 mm, tendo variado entre 0,471 mm e 1,089 mm. Para a idade de 6 anos o valor médio foi de 0,779 mm e variou entre 0,442 mm e 1,096 mm. De acordo com Pereira *et al.* (2010), o comprimento médio das fibras de Eucalipto raramente excede o valor de 1,10 mm, estando estes resultados em concordância. Valores idênticos aos encontrados neste trabalho são referidos por Bufolo *et al.* (2009) para a madeira de *E. botryoides* com 8 anos de idade, com comprimento médio de 0,813 mm. Já Dadswell (1972) indica para a mesma espécie o comprimento médio de fibras de 1,14 mm variando entre 1,01 mm a 1,23 mm, valores mais altos, mas não refere a idade das árvores.

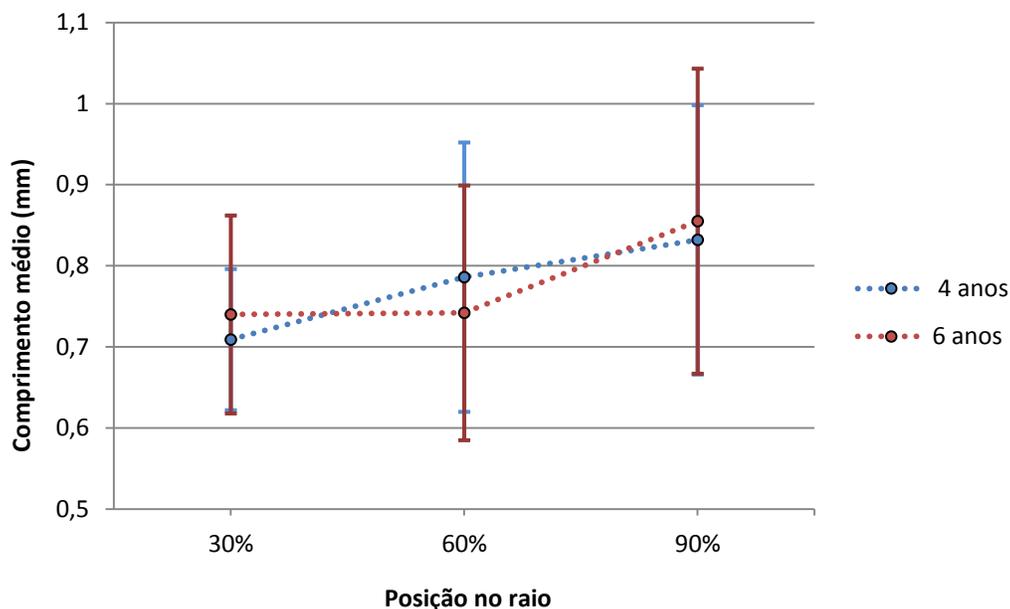


Figura 17 - Variação radial do comprimento médio das fibras em *E. botryoides*.

Observou-se uma tendência para um aumento do comprimento das fibras no sentido medula-periferia em árvores de ambas as idades que, segundo uma extensa lista de artigos na literatura de diferentes espécies de *Eucalyptus* e condições de crescimento, é o padrão característico das fibras de *Eucalyptus* (Tomazello Filho, 1985 e 1987; Rocha *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2007; Sette *et al.*, 2009) e referido por Bufolo *et al.* (2009) para a madeira de *E. botryoides*. O aumento do tamanho das fibras com a idade é conhecido (Hillis, 1978; Sardinha e Hughes, 1978-1979; Ridoutt e Sands, 1994), embora neste caso não se tenha observado uma grande diferença entre os valores médios dado a proximidade de idades. Ainda assim, a 30% e 90% do raio os valores do comprimento médio das fibras foram superiores na idade de 6 anos (Figura 17).

Em relação à espessura da parede das fibras, verificou-se um valor médio de 4,1 μm para a idade de 4 anos, que variou entre 2,53 e 6,4 μm . O valor médio para a idade de 6 anos foi de 3,5 μm , variando entre os 2,41 e 5,2 μm . Os valores médios de espessura da parede das fibras determinados foram semelhantes aos encontrados por Bufolo *et al.* (2009) que refere valores de espessura média de parede de fibra de 4,2 μm na espécie *E. botryoides* com 8 anos de idade. Estes valores médios estão dentro da variação de espessura da parede das fibras para a

espécie *Eucalyptus globulus*, estudada por diversos autores (Carvalho, 1962; Onofre, 1999; Miranda *et al.*, 2003).

Observando a Figura 18, as árvores mais jovens são as que apresentaram valores mais elevados de espessura de parede em todas as posições de raio; verificou-se também um aumento da espessura da parede das fibras no sentido medula-periferia em todas as árvores independentemente da idade, que segundo Pereira *et al.* (2010) é o modelo de variação mais comum da espessura da parede das fibras de *Eucalyptus* e foi o descrito por Bufolo *et al.* (2009) em *E. botryoides*.

Os comprimentos médios das fibras e da espessura da parede das fibras das 5 árvores em estudo ao nível do DAP e a três posições de raio são apresentados no Anexo 1.1, bem como os seus mínimos e máximos e desvio-padrão (DP).

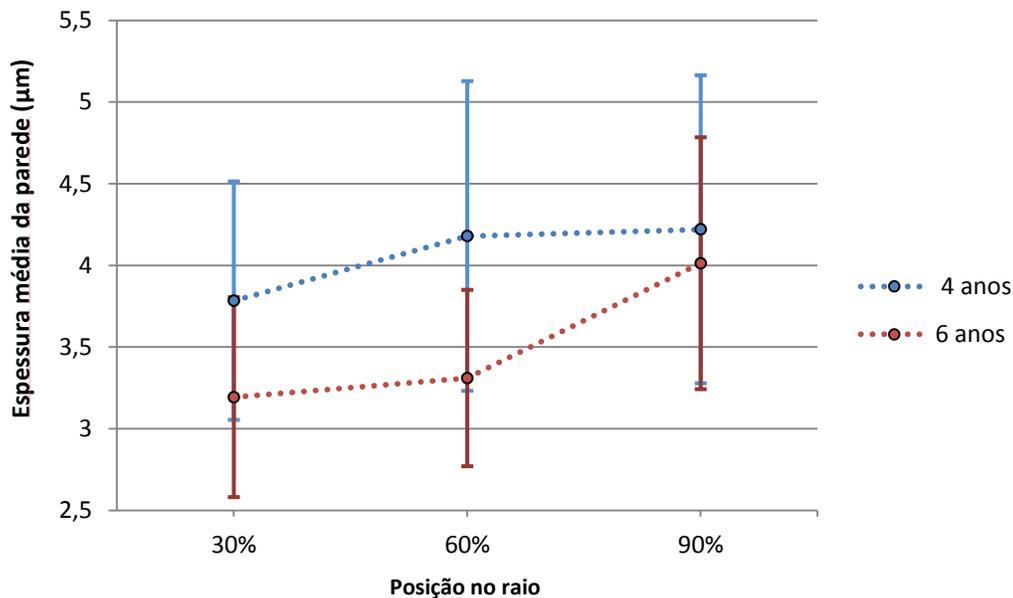


Figura 18 - Variação radial da espessura média da parede das fibras da *E. botryoides*.

4.2 - Módulo de elasticidade à flexão estática e massa volúmica

Os resultados referentes ao módulo de elasticidade à flexão para ambas as idades em estudo da espécie *E. botryoides* encontram-se no Quadro 2. Os valores de carga de flexão de cada um dos provetes utilizados neste ensaio, assim como as respetivas flexas de rotura, MOE, resistência de flexão, comprimento, peso e massa volúmica encontram-se no Anexo 1.2 e 1.3.

Quadro 2 - Resultados do módulo de elasticidade à flexão para a idade de 4 e 6 anos.

Valores médios MOE	4 anos	6 anos
Média (MPa)	6802	5646
Desvio Padrão (MPa)	1010	1233
Valor Máximo (MPa)	8840	8157
Valor Mínimo (MPa)	5380	4086

Os provetes de *E. botryoides* com 4 anos de idade apresentaram um MOE médio de 6802 MPa, enquanto o valor médio do MOE para a idade de 6 anos foi de 5646 MPa. Os *E. botryoides* de 4 anos revelaram então maior resistência e elasticidade à flexão estática. Ainda assim, estes valores encontram-se bastante afastados do valor (16015 MPa), determinado por Santos (2010) para uma árvore adulta da mesma espécie com cerca de 35 anos de idade. Um fator a ser tomado em conta é que a madeira de lenho juvenil tem maior presença de singularidades como sejam, pequenos nós, medula inclusa, pequenas fendas, desvios da direção do fio, que poderão contribuir para essa diferença.

As diferenças encontradas no Quadro 2 para as idades de 4 anos e 6 anos, em comparação com os valores encontrados por Santos (2010) para a madeira de lenho adulto da mesma espécie, não podem ser tomadas como uma conclusão, mas apenas como uma indicação de tendência. Por um lado a representatividade da amostra de 4 anos e de 6 anos foi reduzida, mas por outro a diferença também não é significativa (6800 para 5600), sobrepondo-se os intervalos dos desvios padrão. A diferença de idades entre 4 e 6 anos é demasiado próxima para se estabelecerem tendências seguras de comportamento. Dado que as árvores avaliadas

são muito jovens, os valores do módulo de elasticidade apresentados tenderão ainda a aumentar com a idade (Evans *et al.*, 2000 e Lobão *et al.*, 2004).

Durante o ensaio (Figura 19), os provetes de 4 anos apresentaram um comportamento tipicamente de madeira juvenil, com uma fratura muito frágil e repentina. Apesar deste comportamento juvenil, os provetes apresentaram uma curvatura acentuada, elasticidade e resistência.



Figura 19 - Ensaio à flexão estática de um provete de 4 anos.

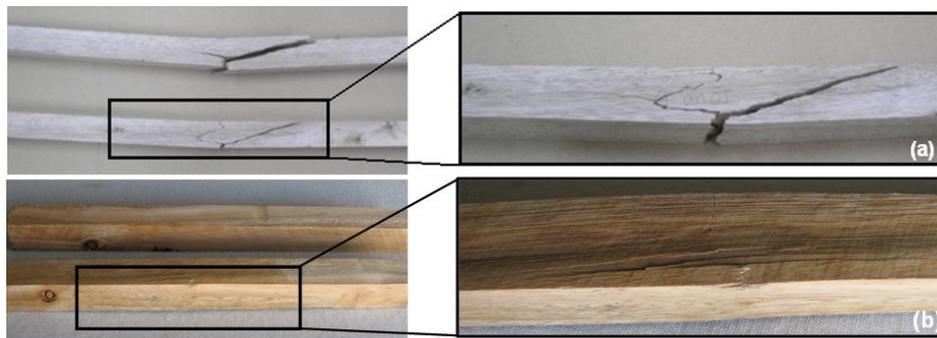


Figura 20 - Provetes de 4 anos (a) e de 6 anos (b) após o ensaio à flexão estática e pormenor da fratura.

Os provetes de 6 anos partiram de maneira diferente dos provetes de 4 anos, apresentando um comportamento mais próximo ao típico do lenho adulto. Recuperaram a elasticidade quase total

quando a pressão foi aliviada após a rotura e não se evidenciou grande fratura dos provetes ao contrário dos de 4 anos (Figura 20).

Apesar dos provetes de 6 anos não terem sido alinhados e suas as dimensões estarem fora da norma, apresentam ainda assim uma dimensão aceitável e que dará origem a um erro reduzido e com pouca influência nos resultados (Santos, 2007).

O Quadro 3 mostra os resultados correspondentes à massa volúmica média determinada para as duas idades em estudo, bem como a sua relação com o MOE. Observando o quadro, verifica-se que a massa volúmica média para a idade de 4 anos foi de 452,95 kg/m³, o que de acordo com a classificação de Carvalho (1996) é muito leve. A massa volúmica média para a idade de 6 anos foi de 532,67 kg/m³ sendo, também segundo o mesmo autor, considerada leve.

Em estudos anteriores em *E. botryoides* de 8 anos (Bufolo *et al.*, 2009) foram encontraram valores semelhantes de densidade (456 kg/m³). Por outro lado, estes valores estão um pouco afastados do valor determinado por Knapic *et al.* (2014) numa árvore de 4 anos da mesma espécie (618kg/m³). As técnicas de determinação da densidade foram diferentes nestes dois casos, servindo estes valores apenas como referência.

A madeira de 4 anos apresentou uma relação MOE/massa volúmica superior à madeira de 6 anos (Quadro 3), o que, embora estes sejam valores inesperados, contribuiu para que a madeira de 4 anos apresentasse um possível potencial estrutural superior uma vez que apresenta uma maior leveza e resistência. Todavia, não podemos desprezar que o número total de amostras do ensaio foi reduzido e que o número de amostras entre idades não foi o mesmo, o que inviabiliza a que se possam estabelecer padrões seguros de comportamento.

Quadro 3 - Massa volúmica média dos provetes de 4 e 6 anos e sua relação com o MOE.

	Massa volúmica média (kg/m³)	MOE / massa volúmica
4 anos	453	15,02
6 anos	533	10,59

4.3 - Compressão axial

Os provetes de 4 e 6 anos sujeitos à compressão axial (Figura 21) apresentaram os valores médios que se encontram no Quadro 4. Os valores de carga de cada um dos provetes utilizados neste ensaio, assim como as respectivas cargas e tensões de rotura encontram-se no Anexo 1.4.

Quadro 4 - Valores médios da compressão axial para a idade de 4 e 6 anos.

Compressão axial	4 anos	6 anos
Média (MPa)	34,5	42,5
Desvio Padrão (MPa)	2,8	5,9
Valor Máximo (MPa)	38,8	49,5
Valor Mínimo (MPa)	28,6	32,6

Com 4 anos de idade, o *E. botryoides* apresentou um valor médio de compressão axial de 34 MPa, que de acordo com a classificação de Carvalho (1996), pertence à classe fraca para utilização em estruturas. Por sua vez, os *E. botryoides* de 6 anos apresentaram um valor médio de compressão axial de 43,0 MPa, que, segundo o mesmo autor, pertencem à mesma classe fraca para utilização estrutural.

Como seria de esperar, a madeira de *E. botryoides* de 6 anos apresentou uma maior resistência à compressão axial em relação à idade de 4 anos. Estes valores revelam uma baixa resistência quando comparados ao valor determinado por Santos (2010) numa árvore adulta (62,5 MPa), provavelmente devido à maior diferença de idades.

Em comparação com outras espécies, os valores de compressão encontrados foram próximos aos encontrados por Acosta *et al.* (2008) em *E. grandis* e *E. dunnii* de 12-14 anos, e também aos valores encontrados em 7 clones de Eucalipto com 5,5-10,5 anos de idade por Cruz *et al.* (2003).



Figura 21 - Provete de 4 anos sujeito à compressão axial.

4.4 - Dureza Janka

Os provetes de 4 e 6 anos de *E. botryoides* sujeitos à dureza Janka (Figura 22) apresentaram os valores médios que se encontram no Quadro 5. Os valores de carga máxima de penetração da esfera e respetiva dureza Janka de cada um dos provetes utilizados neste ensaio encontram-se no Anexo 1.5.

Quadro 5 - Valores médios de dureza Janka para a idade de 4 e 6 anos.

Dureza Janka	4 anos	6 anos
Média (MPa)	26,1	37,0
Desvio Padrão (MPa)	7,7	6,2
Valor Máximo (MPa)	39,7	46,9
Valor Mínimo (MPa)	19,0	30,4

Os provetes de 4 anos apresentam um valor médio de dureza Janka de 26,1 MPa, que segundo a classificação de Carvalho (1996) se insere na classe baixa de dureza. Por sua vez, os provetes de 6 anos apresentaram um valor médio de dureza Janka de 37,0 MPa, que segundo o mesmo autor se insere na classe média de dureza Janka.

Como seria previsto, a madeira de *E. botryoides* com 6 anos apresentou uma maior dureza em relação à madeira de 4 anos. Comparando o valor da dureza de *E. botryoides* com 6 anos com a dureza da *E. globulus* com 6 anos estudada por Santos *et al.* (2008), a *E. botryoides* apresentou um valor superior.

Os valores médios de dureza Janka foram próximos aos encontrados por Acosta *et al.* (2008) em *E. grandis* e *E. dunnii* de 12-14 anos e aos valores encontrados em 7 clones de Eucalipto com 5,5-10,5 anos de idade por Cruz *et al.* (2003).

Quando comparados com uma árvore de idade mais avançada de *E. botryoides*, os valores de dureza encontrados aos 4 e 6 anos de idade foram bastante inferiores aos estudados por Santos (2010) (64,2 MPa).

Os valores de baixa dureza encontrados apontam para uma maior facilidade de laboração da madeira; por outro lado, indicam também uma menor capacidade de suportar cargas pontuais.

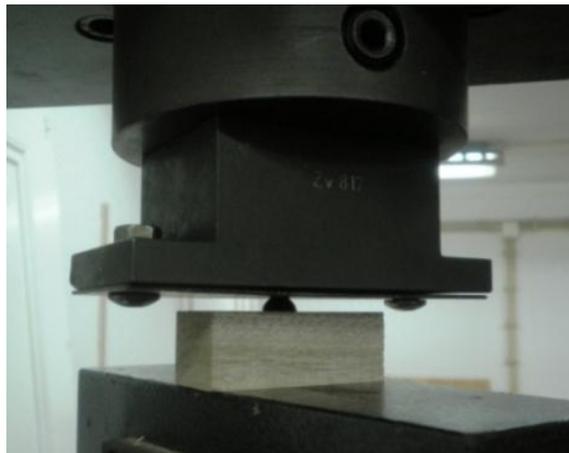


Figura 22 - Provete de 4 anos sujeito à dureza Janka.

4.5 - Fio espiralado da madeira

Os toros de 6 anos aos quais foram medidos o fio espiralado da madeira encontram-se na Figura 23 e os seus ângulos resultantes encontram-se no Quadro 6, bem como a fração a/b correspondente.



Figura 23 - Toros de *E. botryoides* com 6 anos de idade com o fio espiralado marcado a vermelho.

Quadro 6 - Ângulos resultantes da medição do espiralado nos 5 toros de *E. botryoides* com 6 anos de idade e fração a/b correspondente.

Toro	Ângulo (arctan a/b)	a/b	Máximo a/b (NP4305)
1	+27°	0,509	
2	+3°	0,052	
3	-10°	0,176	0,167
4	+9°	0,158	
5	+4°	0,070	

Analisando o Quadro 6, verifica-se que tanto o toro 1 como o toro 3 ultrapassa o desvio máximo admissível da direção do fio de 1/6, referido na norma de classificação de madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas NP 4305.

Os ângulos dos 5 toros apresentaram uma média de 6,6°, com valores entre -10° (desvio à esquerda) e +27° (desvio à direita). Estes valores diferiram um pouco e foram mais elevados em relação aos estudados para a espécie *E. dunnii* com 9 anos, onde o ângulo do fio espiralado

foi em média $0,33^\circ$, entre -6° e $+6^\circ$ (Thinley *et al.*, 2005). As árvores de 4 anos não apresentaram evidências visuais de fio espiralado

Kretschmann *et al.* (2010) estudaram a influência do fio espiralado de três espécies de folhosas em propriedades como o MOE, e verificaram a existência de uma relação. Segundo os autores, o MOE decresce com o aumento do fio espiralado, e conseqüentemente a resistência da madeira também.

Negrão e Faria (2009) verificaram ainda que a resistência à tração é mais sensível à variação de ângulo do fio espiralado do que a resistência à compressão, e para uma variação de 10° no ângulo, a resistência à tração perde sensivelmente 35% enquanto a resistência à compressão apenas 15%.

Através dos resultados do ensaio, verificou-se que as árvores de 6 anos apresentaram efetivamente um MOE mais baixo em relação às árvores de 4 anos. Apesar de estes resultados terem sido um pouco inesperados como anteriormente foi referido, estes estão em concordância com a relação entre MOE e fio espiralado encontrada por Kretschmann *et al.* (2010), podendo ser este mais um fator a tomar em conta para tais resultados.

5. CONCLUSÕES

Apesar de este estudo se encontrar numa fase precoce de avaliação, a madeira de *E. botryoides* revelou uma boa aptidão para fins sólidos.

Esta madeira apresenta vantagens de produção em relação a espécies tradicionalmente utilizadas para fins sólidos, devido ao seu crescimento rápido, boa adaptação, baixo custo de produção e ao valor decorativo da sua madeira.

Com base nos estudos efetuados, a análise do comprimento e da espessura da parede das fibras revelou valores esperados e padrões normais de variação nas duas idades estudadas, que conferem rigidez e resistência à madeira.

A madeira de 4 anos revelou indícios de um comportamento mecânico mais eficaz em comparação com a madeira de 6 anos, uma vez que, embora com menos densidade, se obtiveram propriedades mecânicas com valores acima do esperado para a sua leveza, verificando-se também uma boa secagem em tronco sem deformações. Além disso, foi uma madeira fácil de trabalhar e não apresentou o fio espiralado da madeira. Por outro lado, a madeira de 6 anos apresentou um valor de MOE inferior ao esperado e além disso apresentou a desvantagem de apresentar o fio espiralado. Os resultados mecânicos observados apontam para uma influência do lenho juvenil, do cerne pouco desenvolvido e da presença mais acentuada de defeitos como nós e tensões de crescimento.

Dadas as características anteriormente apresentadas e com base nos estudos feitos, seria interessante estudar formas de aproveitamento das peças de 4 e 6 anos com vista à obtenção de peças com dimensões superiores, como por exemplo lamelados colados. A fabricação de compósitos permite fazer um melhor aproveitamento da madeira que não apresente tão bons padrões de qualidade para a sua finalidade pretendida, além de apresentar formas e dimensões que não seriam possíveis com a madeira maciça. Deste modo, no futuro, seria interessante estudar o comportamento da madeira de *E. botryoides* transformada em compósitos, bem como avaliar a aptidão desta madeira ao processo de colagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, M.S. 1998. Estado de la tecnologia en usos no tradicionales de la madera de Eucalipto en el Mercosur y otros paises. In: Seminário internacional sobre produtos sólidos de madeira de alta tecnologia. Belo Horizonte, Anais, Viçosa.

Acosta, M.S., Mastrandrea, C., Lima, J.T. 2008. Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology. Chile.

Ballarin, A.W., Palma, H.L. 2003. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*. *Sociedade de Investigações Florestais*, v.27 (3): 371-380.

Bamber, R.K. 1985. The wood anatomy of eucalypts and papermaking. *Appita Journal*, v.38: 210-216.

Barbadillo, P. 1967. Summary of spanish experiments on the pulping of eucalypts. *Appita Journal*, v.21: 27-40.

Bendtsen, B.A. 1978. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Products Journal*, Madison, v.28 (10): 69-72.

Bertola, A. 2004. Falem mal, mas continuem falando de mim!. Eucalipto - 100 anos de Brasil. Brasil.

Bhat, K.M., Bhat, K.V., Dhamodaran, T.K. 1990. Wood density and fibre length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. *Wood and Fiber Science*, v. 22: 54-61.

Bisset, I.J.W., Dadwell, H.E. 1949. The variation in fiber length within one tree of *Eucalyptus regnans* F. v. M. *Australian Forestry*, v.13: 86-96.

Boland, D.J., Brooker, M.I.H., Chippendale, G.M.; McDonald, M.W. 2006. *Forest trees of Australia*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. Collingwood, Victoria.

Brasil, M.A.M., Ferreira, M. 1972. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ao nível do DAP. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, Piracicaba, v.5: 81-90.

Brasil, M.A.M., Ferreira, M. 1979. Características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, aos 3 anos de idade. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, Piracicaba, v.19: 80-97.

Bufolo, A, Bibini, G, Lima, I.L., Longui, E.L., Florsheum, S.M.B. 2009. Variabilidade da densidade básica e das dimensões de fibra em diferentes espécies de *Eucalyptus* plantadas em Itatinga/ SP. *Instituto Florestal Série Registros*, v.40: 63-68.

Carvalho, A. 1962. *Madeira de Eucalipto (Eucalyptus globulus Labill) - Estudos, ensaios e observações*. Estudos e Divulgação Técnica. Direção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas. Lisboa.

Carvalho, A. 1996. *Madeiras Portuguesas - Estrutura Anatómica, Propriedades, Utilizações*. Vol. 1. Instituto Florestal. Lisboa.

Carvalho, A. 1997. *Madeiras Portuguesas - Estrutura Anatómica, Propriedades, Utilizações*. Vol. II. Direção Geral das Florestas.

Carvalho, A.M. 2000. *Valorização da madeira do híbrido Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha*. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba.

CDU. 1995. *NP 4305: 1995 – Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas*.

Celesc. 1994. Sistema de desenvolvimento de sistemas de distribuição – Postes de eucalipto preservado. Manual especial. Brasil.

CELPA. 2012. Boletim estatístico de 2012. Indústria Papeleira Portuguesa.

CEN. 2003. *EN 408: 2003 - Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties*.

Cown, D.J. 1992. Corewood (Juvenile wood) in *Pinus radiata* – should we be concerned?. *New Zealand Journal of Forestry Science*, v. 22 (1): 87-95.

Cruz, C.R. 2000. *Caracterização da madeira de clones de Eucalyptus para utilização na indústria madeireira*. Tese de Mestrado em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Cruz, C.R.; Lima, J.T., Muniz, G.I.B. 2003. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.64 (1):33-47.

Dadswell, H.E. 1972. The anatomy of the *Eucalyptus* woods. *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*, Melbourne, v.66:1-28

Del Menezzi, C.H.S. 1999. *Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de Eucalyptus grandis Hill ex-Maiden e Eucalyptus cloeziana F. Muell.* Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba.

Eklund, L., Säll, H. 2000. The influence of wind on spiral grain formation in conifer trees. *Trees – Structure and Function*, v.14(6): 324-328.

Evans, J.W., Senft, J.F., Green, D.W. 2000. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. *Forest Production Journal*, v.50 (7/8): 75-87.

Evert, R. 2006. *Esau, Anatomía Vegetal*. Ediciones Omega. Barcelona.

Foelkel, C.E.B., Barrichelo, L.E.G. 1975. *Tecnologia de celulose e papel*. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba

Fox, T.R. 2000. Sustained productivity in intensively managed forest plantations. *Forest Ecology and Management*, v.138: 187-202.

Goes, E. 1977. *Os Eucaliptos - Ecologia, Cultura, Produções e Rentabilidade*. Centro de Produção Florestal. Portucel - Empresa de Celulose e Papel de Portugal, E. P. Peres, Artes Gráficas. Venda Nova.

Gonçalves, F.G., Oliveira, J.T.S., Lúcia, R.M.D., Sartório, R.C. 2009. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, Viçosa, v.33 (3): 501-509.

Hans, A.S., Burley, J. 1972. Wood quality of eight *Eucalyptus* species in Zambia. *Separatum Experientia*, v.128: 1378-1380.

Hans, A.S., Burley, J., Williamson, P. 1972. Wood quality in *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden grown in Zambia. *Holzforschung*, v.26: 138-141.

Hillis, W.E. 1978. Wood quality and utilization. In: *Eucalypts for wood production*. Eds. W. E. Hillis and A. G. Brown: *Common wealth Scientific and Industrial Research Organization*, Melbourne.

ICNF. 2013a. *IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares*. [pdf], Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.

ICNF. 2013b. *Espécies arbóreas florestais utilizáveis em Portugal*. [pdf], Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.

Igartúa, D.V., Monteoliva, S.E., Monterubbianesi, M.G., Villegas, M.S. 2002. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* spp. *Globulus*: II. Variaciones en la densidad básica y la longitud de fibras en Lobería, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, La Plata, v. 105: 29-39.

Johnson, K., Burchett, M. 1996. *Native Australian Plants - Horticulture and Uses*. University of New South Wales Press, Sydney.

Jorge, C.T.F. 1994. *Variabilidade anatómica, física e química da madeira da Eucalyptus globulus Labill*. Tese de doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

Jorge, C.T.F. 1996. Variabilidade anatómica da madeira da *Eucalyptus globulus* Labill. In: *Actas do XV Congresso Nacional Tecnicalpa*. Aveiro.

Jorge, F., Quilhó, T., Pereira, H. 1997. Variabilidade das fibras da casca e do lenho da *Eucalyptus globulus*. In: *IRATI 97, Montes del futuro: respuestas ante un mundo en cambio. Libro de actas: 247-252*.

Jorge, F., Quilhó, T., Pereira, H. 2000. Variability of fibre length in wood and bark in *Eucalyptus globulus*. *International Association of Wood Anatomists Journal*, v.21: 41-48.

Knapic, S., Pirralho M., Louzada, J.L., Pereira, H. 2014. Early assessment of density features for 19 *Eucalyptus* species using X-ray microdensitometry in a perspective of biomass potential production. *Wood Science and Technology*, v.48: 37-49.

Krahmer, R. 1986. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. In: A technical workshop: Juvenile wood – What does it mean to forest management and forest products. Washington. Madison: *Forest Products Research Society*, p. 12-16.

Kretschmann, D.E., Bridwell, J.J., Nelson, T.C. 2010. Effect of changing slope of grain on ash, maple and yellow birch bending strength. Proceedings of WCTE 2010 (the 11th world conference on timber engineering).

Lima, I.L. 2005. *Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de Eucalyptus grandis Hill ex-Maiden*. Tese de doutoramento em Recursos Florestais. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Lima, J.P.N. 1998. *Abastecimento de madeira da Eucalyptus globulus Labill na Soporcel – caracterização anatômica e física*. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Florestal. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

Lima, J.T., Breese, M.C., Cahalan, C.M. 1999. Variation in compression strength parallel to the grain in *Eucalyptus* clones. In: Proceedings Of The Fourth International Conference On The Development Of Wood Science, Wood Technology And Forestry. High Wycombe, Inglaterra, 502-510.

Lobão, M.S., Lúcia, R.M.D., Moreira, M.S.S., Gomes, A. 2004. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. *Revista Árvore*, v.28 (6): 889-894.

Lopes, A.G. 2000. *Qualidade da madeira de Eucalyptus saligna Smith, de Itatinga, associada aos padrões de casca apresentados pela população*. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba.

Martins, M. 2010. *Dimensionamento de Estruturas em Madeira - Coberturas e Pavimentos*. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

McKimm, R.J., Ilic, Y. 1987. Characteristics of the wood of young fast-grown trees of *Eucalyptus nitens* Maiden with special reference to provenance variation - anatomical and physical characteristics. *Australian Forest Research*, v.17: 19-28.

- Menezes, L.F. 1998. Desdobro, secagem e beneficiamento da madeira de eucalipto – a experiência da Flosul. In: Seminário internacional sobre produtos sólidos de madeira de alta tecnologia, 1.º encontro sobre tecnologias apropriadas de desdobro, secagem e utilização da madeira de eucalipto. Belo Horizonte, Anais, Viçosa.
- Miranda, I., Almeida, M.H., Pereira, H. 2001. Variation of fibre biometry in different provenances of *Eucalyptus globulus* Labill. *Appita Journal*, v.54: 272-280.
- Miranda, I., Pereira, H. 2002. Variation of pulpwood quality with provenances and site in *Eucalyptus globulus*. *Annals of Forest Science*, v.59: 283-291.
- Miranda, I., Tomé, M., Pereira, H. 2003. The influence of spacing on wood properties for *Eucalyptus globulus* Labill. pulpwood. *Appita Journal*, v.56: 140-144.
- Monteiro, B.L.N. 2003. *Caracterização anatômica e física de Eucalyptus globulus Labill de segunda rotação*. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Florestal. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.
- Monteoliva, S., Nuñez, C., Igartúa, D. 2002. Densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera de una plantación de *Eucalyptus globulus* en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Congresso Ibero-Americano de Investigación in Celulosa e Papel.
- Moura, M.J.C. 1999. Caracterização morfológica da madeira de *Eucalyptus globulus*. Estudos de variabilidade numa árvore. Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Departamento de Engenharia Química. Coimbra.
- Negrão, J., Faria, A. 2009. *Projecto de Estruturas de Madeira*. Publindústria.
- Norman, D. 1972. *Manuel d'identification des bois commerciaux*. Centre Technique Forestier Tropical. Paris.
- Oliveira, J.T.S. 1997. *Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Ona, T., Sonoda, T., Ito, K., Tamai, Y., Kojima, Y., Ohshima, J., Yokota, S., Yoshizawa, N. 2001. Investigation of relations between cell and pulp properties in *Eucalyptus* by examination of within-tree property variations. *Wood Science and Technology*, v.35: 229-243.

- Onofre, R.A.G. 1999. *Variabilidade anatômica da madeira da Eucalyptus globulus Labill proveniente de povoamentos da Soporcel, em condições de crescimento contrastantes*. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Florestal. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.
- Padilha, C., Lima, J.T., Silva, J.R.M., Trugilho, P.F., Andrade, H.B. 2006. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* para utilização em pisos. *Scientia Forestalis*, v.71: 141-147.
- Palma, L.A., Leonello, E.C., Ballarin, A.W. 2010. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. *Cerne*, Lavras, v.16: 114-148.
- Panshin, A.J., De Zeeuw, C. 1980. *Textbook of wood technology*. 4.^a ed. New York.
- Pearson, R.G., Gilmore, R.C. 1980. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of loblolly pine. *Forest Products Journal*, v.30 (5): 47-54.
- Pereira, H. 1994. Raw material properties of *Eucalyptus globulus* wood. In: *Eucalyptus for biomass production*. Ed. Pereira, J.S., Pereira, H. Commission of the European Communities. Lisboa.
- Pereira, H., Miranda, I., Gominho, J., Tavares, F., Quilhó, T., Graça, J., Rodrigues, J., Shatalov, A., Knapic, S. 2010. *Qualidade e Utilização Tecnológica do Eucalipto (Eucalyptus globulus)*. Centro de Estudos Florestais. Lisboa.
- Pereira, J.S. 2007. Uma espécie altamente produtiva. In: Silva, J. S. (Ed.) *Pinhais e Eucaliptais: a floresta cultivada*. Público, Comunicação Social, SA e Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento. Lisboa.
- Pfeil, W., Pfeil, M. 2003. *Estruturas de madeira*. 6.^a Edição. Rio de Janeiro.
- Quilhó, T., Miranda, I., Pereira, H. 2006. Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). *International Association of Wood Anatomists Journal*, v. 27 (3): 243-254.
- Ramos, L.A., Latorraca, J.F., Pastro, M.S., Souza, M.T., Garcia, R.A., Carvalho, A.M. 2011. Variação radial dos caracteres anatómicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden

e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.39 (92): 411-418.

Ramsay, W., Briggs, D. 1986. Juvenile wood: has it come of age?. In: A technical workshop: Juvenile wood – What does it means to forest management and forest products. Washington. Madison: *Forest Products Research Society*, p. 5-11.

Ridoutt, B., Sands, R. 1994. Quantification of the processes of secondary xylem fibre development in *Eucalyptus globulus* at two height levels. *International Association of Wood Anatomists Journal*, v.15(4): 417-424.

Rocha, F.T., Florsheim, S.M.B., Couto, H.T.Z., Spegiorin, L. 2002. Variação da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos sete anos de idade. In: Encontro em madeira e em estrutura da madeira. Uberlândia. *Anais*, v.7: 1-10.

Santos, J.A., Pinho, A.C.M. 2004. New Advances for the Application of *Eucalyptus* as a Structural Wood. *Silva Lusitana*, v.12 (1): 43-50.

Santos, J.A. 2007. *Estudo de Modelos e Caracterização do Comportamento Mecânico da Madeira*. Tese de Doutorado. Universidade do Minho. Guimarães.

Santos, J.A., Santos, J., Borralho, N., Araújo, J. 2008. Caracterização das potencialidades de utilização da madeira de híbridos de eucalipto. *Silva Lusitana*, v.16 (1): 63 - 81.

Santos, J.A. 2010. *Parecer técnico: Caracterização física, mecânica e tecnológica de duas espécies de madeira de eucalipto*. LNEG. Lisboa.

Sardinha, R.M.A., Hughes, J.F. 1978-1979. Wood properties variation of *Eucalyptus saligna* Sm. from Angola. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, v.38: 105-124.

Sette, J.C.R., Tomazello, F.M., Dias, C.T.S., Chagas, M.P., Laclau, J.P. 2009. Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W Hill, aos 24 meses de idade. *Revista Floresta*, Curitiba, v.39 (3): 535-546.

Sette, J.C.R, Oliveira, I.R., Tomazello, F.M., Yamaji, F.M, Laclau, J.P. 2012. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, v.36: 6.

Sharma, S.K., Rao, R.V., Shukla, S.R., Kumar, P., Sudheendra, R., Sujatha, M., Dubey, Y.M. 2005. Wood quality of coppiced *Eucalyptus tereticornis* for value addition. *International Association of Wood Anatomists Journal*, v.26: 137-147.

Silva, M.L.A. 1998. *Estudo da interação genótipo x ambiente no comprimento das fibras da Eucalyptus globulus Labill.* Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Florestal. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

Silva, M.L.A. 1998. *Estudo da qualidade (anatômica, química e papeleira) da produção lenhosa de eucalipto (E. globulus e E. camaldulensis) em sistemas intensivos de muita curta rotação.* Tese de Mestrado em Engenharia de Materiais Lenhocelulósicos. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

Silva, J.C., Tomazello, F. M., Oliveira, T.S., Castro, V.R. 2007. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. *Revista Árvore*, v.31(6): 1081-1090.

Taylor, F.W. 1973. Anatomical wood properties of South-African grown *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal*, v.84: 20-24.

Thinley, C., Palmer, G., Vanclay, J.K., Henson, M. 2005. Spiral and interlocking grain in *Eucalyptus dunnii*. *Springer-Verlag*, v.63: 372-379.

Tomazello Filho, M. 1985a. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivados no Brasil. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, Piracicaba, v.29: 25-36.

Tomazello Filho, M. 1985b. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, Piracicaba, v.29: 37-45.

Tomazello Filho, M. 1985c. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus gumifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, Piracicaba, v.30: 45-53.

Tomazello Filho, M. 1987. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, Piracicaba, v.36: 35-42.

Tomé, M., Ribeiro, F., Soares, P., Miranda, I., Jorge, F., Pina, J.P. 1996. Efeito do compasso na quantidade e qualidade da madeira de *Eucalyptus globulus*. Análise da 1.^a rotação de um ensaio. In: IRATI 97, Montes del futuro: respuestas ante un mundo en cambio. Libro de actas: 150-159.

Trugilho, P.F., Lima, J.T., Mendes, L.M. 1996. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Cerne*, Lavras v.2 (1): 1-15.

Tsoumis, G. 1991. *Science and technology of wood - Structure, Properties, Utilization*. Van Nostrand Reinhold. Nova Iorque.

Veenin, T., Fujita, M., Nobuchi, T., Siripatanadilok, S. 2005. Radial variations of anatomical characteristics and specific gravity in *Eucalyptus camaldulensis* clones. *International Association of Wood Anatomists Journal*, v.26: 353-361.

Villegas, M.S., Rivera, S.M. 2002. Revision xilológica de las principales especies del género *Eucalyptus* L'Herit. cultivadas en Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomia*, La Plata, v.105: 9-28.

Wilkes, J. 1988. Variations in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. *International Association of Wood Anatomists Journal*, v.9: 13-23.

Yang, J.L., Evans, R. 2003. Prediction of MOE of *Eucalyptus* wood from microfibril angle and density. *Springer*, Berlin, v.61: 449-452.

Zobel, B.J. 1984. The changing quality of the world wood supply. *Wood Science and Technology*, New York, v.18 (1): 1-17.

Zobel, B.J., Buijtenen, J.P. 1989. *Wood variation: its causes and control*. Springer-Verlag, Berlin.

Department of Environment and Primary Industries. Southern Mahogany for Farm Forestry. 2009. Disponível em: <http://www.dpi.vic.gov.au/forestry/private-land-forestry/individual-species/southern-mahogany-farm-forestry>

Forest Stewardship Council. S/ data. FSC Certificate Database. Disponível em: <http://info.fsc.org/>

Laboratório de Produtos Florestais UTAD. S/ data. *Eucalyptus botryoides* Sm. Disponível em: http://www.cifap.utad.pt/eucalyptus_botryoides.htm

PEFC Portugal. Certificação da Gestão Florestal Sustentável. 2013. Disponível em: <http://www.pefc.pt/certificacao-gfs/introducao>

Wikipédia. *Eucalyptus botryoides*. 2013. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Eucalyptus_botryoides

ANEXOS

Anexo 1.1 – Valores médios do comprimento e espessura das fibras das 5 árvores em estudo ao nível do DAP e a 3 posições de raio.

		Comprimento das fibras (mm)			Espessura das fibras (µm)		
		30%	60%	90%	30%	60%	90%
ÁRVORE 1 (4 Anos)	Média	0,756	0,815	0,865	3,6	4,0	4,3
	Mín.	0,589	0,562	0,614	2,4	2,7	3,3
	Máx.	0,976	1,205	1,116	4,8	6,9	6,1
	DP ±	0,096	0,137	0,122	0,7	0,8	0,7
ÁRVORE 2 (4 Anos)	Média	0,662	0,756	0,800	4,0	4,4	4,2
	Mín.	0,523	0,311	0,225	2,5	2,2	2,2
	Máx.	0,911	1,194	1,125	6,2	7,0	7,4
	DP ±	0,079	0,196	0,210	0,8	1,1	1,2
ÁRVORE 3 (6 Anos)	Média	0,739	0,696	0,804	2,9	3,0	4,4
	Mín.	0,411	0,328	0,317	1,7	2,2	2,4
	Máx.	0,917	1,035	1,252	5,1	4,5	7,4
	DP ±	0,115	0,179	0,198	0,7	0,5	1,3
ÁRVORE 4 (6 Anos)	Média	0,686	0,725	0,883	3,1	3,4	3,4
	Mín.	0,480	0,418	0,547	2,2	2,7	2,8
	Máx.	1,003	0,993	1,129	4,8	4,2	5,0
	DP ±	0,133	0,139	0,148	0,5	0,5	0,5
ÁRVORE 5 (6 Anos)	Média	0,794	0,804	0,877	3,6	3,6	3,7
	Mín.	0,479	0,495	0,501	2,5	2,6	2,6
	Máx.	1,038	1,212	1,282	5,2	5,5	4,6
	DP ±	0,119	0,153	0,217	0,7	0,6	0,5

Anexo 1.2 – Valores de carga de flexão dos 12 provetes de 4 anos e respectivas cargas e flexas de rotura, MOE, resistência de flexão, comprimento, peso e massa volúmica.

4 anos												
Identificação dos provetes / Carga de flexão												
Flechas (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	6	6	4	4	5	8	8	10	11	14	10	10
2	12	16	10	12	12	16	12	18	18	24	15	18
3	18	24	14	20	18	24	18	25	24	35	21	25
4	24	34	20	28	24	32	24	32	31	45	27	32
5	31	42	26	34	32	40	30	42	38	56	34	40
6	38	50	32	42	38	48	36	48	44	66	40	48
7	42	58	38	48	45	56	42	56	50	74	45	54
8	50	64	42	55	52	62	48	62	55	82	50	60
9	54	72	48	60	58	70	54	68	60	90	56	66
10	60	76	52	66	62	74	60	72	65	96	60	72
11	62	82	55	68	68	80	64	76	68	102	64	76
12	66	85	60	74	72	84	68	80	72	106	68	80
13	70	88	62	78	76		72	84	75	110	70	82
14	72	90	64	80	80		76	86	78	114		86
15		92	66	82	84		80		80	114		88
16		92	68	86	88		82		82			90
17			70	88	90		85					92
18				90	92		88					
19							90					
20							92					
21							95					
Carga rotura (kgf)	73	94	72	90	92	84	95	86	82	114	70	94
Flecha rotura (mm)	15	18	19	18	18	13	21	15	16	15	14	18
h (mm)	20,40	20,00	20,20	20,44	20,26	20,20	20,14	20,22	20,12	22,50	20,18	20,52
b (mm)	20,12	20,00	20,24	20,38	20,48	20,38	20,20	20,40	20,41	20,40	20,38	20,51
MOE (MPa)	5.733	8.840	5.380	7.033	6.229	7.772	5.934	7.742	6.545	7.492	6.171	6.753
Resistência flexão (MPa)	51	69	51	62	64	59	68	61	58	65	50	64
Comprimento (mm)	435,80	436,00	438,50	436,00	435,50	435,50	436,00	435,50	435,50	437,00	438,20	436,30
Peso (g)	78,71	86,12	73,54	86,92	91,97	67,41	86,84	82,34	76,39	97,50	76,13	81,57
Massa volúmica (g/cm ³)	0,44	0,49	0,41	0,48	0,51	0,38	0,49	0,46	0,43	0,49	0,42	0,44
Massa volúmica (kg/m ³)	440,03	493,81	410,20	478,57	508,97	375,99	489,58	458,36	427,15	486,08	422,43	444,22

Anexo 1.3 – Valores de carga de flexão dos 10 provetes de 6 anos e respectivas cargas e flexas de rotura, MOE, resistência de flexão, comprimento, peso e massa volúmica.

6 anos	Identificação dos provetes / Carga de flexão									
Flechas (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	25	18	15	20	20	15	17	14	20	8
2	50	32	34	40	38	26	26	25	38	16
3	72	58	56	58	62	40	40	38	62	28
4	94	80	76	78	82	52	52	50	82	40
5	114	98	96	96	104	65	64	62	102	52
6	134	114	115	114	122	76	75	70	122	62
7	150	128	132	128	138	86	84	78	140	72
8	164	142	145		152	96	92	86	152	80
9	176	152	156		164	104	100	94	164	88
10	186	162	166		174	110	104		174	95
11	194	168	174		182	114	106		182	100
12	200					118	110			104
13						122				108
14										110
15										114
Carga rotura (kgf)	200	168	178	138	188	122	112	-	182	114
Flecha na rotura (mm)	12	11	12	8	12	14	13	-	11	15
h (mm)	22,50	21,50	22,20	21,50	20,80	21,00	17,40	21,50	22,00	18,20
b (mm)	21,00	22,00	21,60	20,80	21,60	16,50	16,50	17,00	15,40	21,00
MOE (MPa)	5.382	5.632	4.797	5.010	6.048	4.762	8.157	-	7.283	5.306
Resistência flexão (MPa)	78	68	69	59	83	69	92	-	101	68
Comprimento (mm)	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Peso (g)	89,79	89,87	89,80	83,75	95,60	55,44	53,42	57,19	66,33	75,93
Massa volúmica (g/cm ³)	0,54	0,54	0,54	0,54	0,61	0,46	0,53	0,45	0,56	0,57
Massa volúmica (kg/m ³)	542,95	542,86	535,06	535,08	607,96	457,14	531,62	447,06	559,37	567,62

Anexo 1.4 – Valores de carga dos provetes de 4 e 6 anos sujeitos à compressão axial e respectivas cargas e tensões de rotura.

4 anos		Identificação dos provetes / Carga										
Flechas (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	15	30	30	60	110	40	110	25	30	50	50	20
0,4	130	70	135	280	370	220	340	1140	220	300	350	140
0,6	510	340	460	820	875	680	830	460	610	1010	870	470
0,8	950	740	830	1270	1220	1180	1230	880	990	1500	1170	920
1,0	1330	1080	1080	1540	1400	1550	1430	1210	1280	1570	1350	1260
1,2	1490	1300	1190	1620	1540	1630	1490	1380	1370		1400	1410
1,4		1360						1440				
Carga de rotura (kgf)	1490	1360	1190	1620	1540	1630	1490	1440	1370	1570	1400	1410
Carga de rotura (N)	14616,9	13341,6	11673,9	15892,2	15107,4	15990,3	14616,9	14126,4	13439,7	15401,7	13734	13832,1
Tensão rotura (N/mm ²)	35,61	33,35	28,55	38,15	36,41	38,84	35,93	34,25	32,73	33,55	33,39	32,87
Tensão rotura (MPa)	35,61	33,35	28,55	38,15	36,41	38,84	35,93	34,25	32,73	33,55	33,39	32,87

6 anos		Identificação dos provetes / Carga				
Flechas (mm)	1	2	3	4	5	10
0,0	0	0	0	0	0	0
0,5	230	190	540	160	500	340
1,0	1870	1750	1730	1130	1900	1360
1,5	1880	2020		1700	1960	1370
Carga de rotura (kgf)	1880	2020	1730	1700	1960	1370
Carga de rotura (N)	18442,8	19816,2	16971,3	16677	19227,6	13439,7
Tensão de rotura (N/mm ²)	44,93	49,54	41,51	40,03	46,34	32,65
Tensão de rotura (MPa)	44,93	49,54	41,51	40,03	46,34	32,65

Anexo 1.5 – Valores de carga máxima de penetração da esfera de 11 mm e respetiva dureza Janka nos provetes de 4 e 6 anos.

4 anos												
Provete	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Carga máx. penetração da esfera (kgf)	212	188	184	354	372	268	384	200	230	210	208	224
Dureza Janka (MPa)	21,9	19,4	19,0	36,6	38,4	27,7	39,7	20,7	23,8	21,7	21,5	23,1

6 anos							
Provete	1	2	3	4	5	10	
Carga máx. penetração da esfera (kgf)	358	318	454	294	400	324	
Dureza Janka (MPa)	37,0	32,8	46,9	30,4	41,3	33,5	