

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* SOB EFEITO DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO**PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF *Eucalyptus benthamii* WOOD UNDER THE EFFECT OF THE PLANTING SPACING**Cristiane Carla Benin¹ Luciano Farinha Watzlawick² Éverton Hillig³**RESUMO**

Nesse estudo, foram determinadas as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii*, aos seis anos de idade, sob quatro espaçamentos de plantio (3 x 2, 3 x 3, 3 x 4, 4 x 4 m). Para determinação das propriedades físicas, foram amostrados discos em cinco posições no fuste (0,10 m, 1,30 m, 25%, 50% e 75% de altura total). Na avaliação das propriedades mecânicas, vigas de madeira das primeiras toras foram transformadas em corpos de prova para os ensaios mecânicos, realizados de acordo com as normatizações da COPANT. As propriedades mecânicas foram analisadas estatisticamente sob o efeito do espaçamento e para as propriedades físicas, também em relação à posição de amostragem. A densidade básica não foi influenciada pelo efeito do espaçamento, mas verificou-se seu decréscimo com o aumento da altura no fuste. Espaçamentos maiores afetaram negativamente a retração radial (RR), mas não a tangencial (RT). A RR e RT também foram afetadas pela posição de amostragem. A retração volumétrica e o coeficiente de anisotropia apresentaram valores decrescentes com o aumento da altura no fuste. O módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) em flexão estática, a resistência ao cisalhamento e o MOE em compressão não foram influenciados pelo espaçamento, enquanto a resistência à compressão paralela e a dureza no sentido axial e tangencial mostraram algum efeito, sem tendência clara. Concluiu-se que diferentes espaçamentos apresentaram pouca influência nas propriedades físicas e mecânicas do *Eucalyptus benthamii*.

Palavras-chave: estabilidade dimensional; resistência mecânica; espaço vital.

ABSTRACT

In this study, it was determined the physical and mechanical properties of *Eucalyptus benthamii* wood, at the age of six years, in four planting spacings (3x2, 3x3, 3x4, 4x4m). To the evaluation of physical properties, discs were sampled at five positions on the shaft of the tree (0,10 m, 1,30 m, 25% , 50 % and 75 % of total height). In the evaluation of mechanical properties, obtaining timber that were converted to manufacture samples used on the mechanical test, following norms of COPANT. The mechanical properties were analyzed statistically under the effect of spacing and to physical properties too regarding sampling position. The basic density was not influenced by the planting spacing, but was recorded decreasing variation in the values of this property with increasing sampling height. Latter spacings adversely affected the shrinkage in the radial direction (RR) but not the tangential (RT). The RR and RT were also affected by the sampling position. The volumetric shrinkage and the coefficient of anistropy showed a decreasing value with increasing height of the shaft. The modulus of elasticity (MOE) and rupture (MOR) in static bending, the shear strength and modulus of elasticity in compression were not values influenced by spacing, while the shear and compression stiffness in axial and tangential direction showed some effect of spacing, no clear trend in this variation. It was concluded that different spacings do not directly influence the physical and mechanical properties of *Eucalyptus benthamii*.

Keywords: dimensional stability; mechanical strength; vital space.

1 Engenheira Florestal, MSc., Doutoranda em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR 153, Km 07, Riozinho, CEP 84500-000, Irati (PR), Brasil. cristianebenin@hotmail.com

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, CEP 85040-080, Guarapuava (PR). Brasil Bolsista de Produtividade CNPq. farinha@unicentro.br

3 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR 153, Km 07, Riozinho, CEP 84500-000, Irati (PR), Brasil. hillig@hotmail.com

INTRODUÇÃO

As florestas plantadas são essenciais no fornecimento de madeira para fins industriais, em substituição à madeira oriunda de florestas naturais. O rápido crescimento, a produtividade das florestas e as tecnologias no setor florestal favorecem esse cenário. Cada vez mais o gênero *Eucalyptus* ganha espaço nesse contexto, mas ainda há problemas a serem superados, para que sua madeira seja processada mecanicamente com eficiência.

Para o *Eucalyptus benthamii*, espécie potencial para as regiões de clima frio, especialmente no Estado do Paraná e Santa Catarina, os primeiros relatos são sobre as propriedades físicas da madeira e quase nada se conhece sobre as propriedades mecânicas. Pereira, Schaitza e Shimizu (2001), Higa e Pereira (2003) enfatizaram que sua qualidade é adequada à produção de energia e destacaram obstáculos quanto ao processamento mecânico, principalmente pela alta instabilidade dimensional.

O entendimento das técnicas que possam melhorar o desenvolvimento da floresta e adequar as características do produto final são aspectos importantes na produção de madeira com qualidade. Em povoamentos florestais estabelecidos com espécies de curta rotação, o espaçamento inicial adotado pode afetar diretamente a qualidade do produto final, em função de alterações nas taxas de crescimento, forma de crescimento das árvores e pelas características associadas à formação de lenho juvenil (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000).

Para melhorar a qualidade das florestas, o espaçamento é uma das principais ações que podem ser controladas para a produção de madeira com características desejáveis às demandas estabelecidas pelo mercado (BALLONI; SIMÕES, 1980).

Alguns efeitos do espaçamento de plantio são relatados nas propriedades da madeira. Garcia, Corradine e Alvarenga (1991) afirmam que os mais amplos tendem a produzir madeiras com valores mais baixos de densidade básica. Em um povoamento clonal de *Eucalyptus saligna*, com dez anos de idade, foram observados efeitos positivos do espaçamento com maior área vital (12 m²) na densidade básica (BERGER et al., 2002). Para a estabilidade dimensional da madeira de *Pinus taeda*, Chies (2005) observou redução dos valores de contração volumétrica e tangencial com o aumento do espaçamento entre árvores e redução do coeficiente de anisotropia com a redução da área vital entre árvores. Quanto à resistência e rigidez da madeira, concluiu-se que áreas vitais maiores, associadas ao fator adubação, contribuíram no aumento do MOE e MOR em clones de *Eucalyptus saligna*, com dez anos de idade (HASELEIN et al., 2002).

Em decorrência das possíveis alterações nas propriedades da madeira em função do espaçamento de plantio e das pouquíssimas pesquisas sobre a madeira do *Eucalyptus benthamii*, o objetivo desse trabalho foi estudar o efeito de diferentes espaçamentos de plantio nas propriedades físicas e mecânicas da madeira dessa espécie, aos seis anos de idade.

MATERIAL E MÉTODO

Seleção das árvores

A seleção de árvores foi realizada em um plantio experimental de *Eucalyptus benthamii*, com idade de seis anos. O plantio está localizado no Município de Guarapuava - PR e foi conduzido sob quatro espaçamentos de plantio (3 x 2 m, 3 x 3 m, 3 x 4 m e 4 x 4 m). Após medição do diâmetro, selecionaram-se árvores nas cinco classes diamétricas de maior frequência em cada espaçamento. Foram escolhidas aleatoriamente três árvores dentro do intervalo de cada classe, totalizando 15 árvores em cada espaçamento e 60 árvores no ensaio, conforme representado na Tabela 1.

Propriedades físicas

Foram amostrados discos de cinco centímetros de espessura, obtidos em cinco posições predeterminadas: 0,10 m, 1,30 m, 25%, 50% e 75% de altura total. Em cada disco, demarcaram-se duas cunhas opostas diametralmente, com ângulo de trinta graus, em posições livre de qualquer defeito e que representassem o diâmetro médio dos discos.

Determinação da densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira de cada corpo de prova foi determinada pelo método da balança

TABELA 1: Diâmetro das árvores selecionadas em cada espaçamento.

TABLE 1: Diameter of selected trees in each spacing.

Centro de classe Diamétrica (cm)	3 x 2 DAP (cm)	3 x 3 DAP (cm)	3 x 4 DAP (cm)	4 x 4 DAP (cm)
13,47	12,7	12,1	13,3	13,2
	13,2	13,6	14,2	14,4
	12,7	12,3	14,4	13,8
15,91	15,2	16,5	15,8	16,4
	16,1	14,9	17,0	15,3
	15,8	15,6	15,3	16,3
18,35	19,4	18,3	17,6	19,4
	18,1	19,4	17,9	17,3
	18,2	19,1	18,0	17,4
20,79	20,5	20,6	21,8	19,7
	19,3	20,5	19,8	21,7
	21,5	20,9	21,2	20,0
23,23	23,4	23,8	22,7	24,4
	22,4	22,8	22,1	23,2
	22,8	24,4	23,2	24,3

Em que: DAP = diâmetro a altura do peito (cm); Intervalo da classe: 2,44 cm.

hidrostática, de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (2003) Madeira – Determinação da Densidade. A densidade básica (db) foi calculada conforme a equação 1:

$$Db = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Em que: m = massa seca (g) em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ (g); v = volume saturado (cm^3) após a imersão das amostras em água durante 35 dias.

Determinação da Estabilidade dimensional

As mesmas cunhas utilizadas na determinação da densidade básica da madeira foram utilizadas para a estabilidade dimensional. Para tanto, identificaram-se duas posições no sentido tangencial (uma na metade interna e outra na metade externa da cunha no sentido medula-casca) e duas no sentido radial (todo o raio), sendo desprezada a variação no sentido longitudinal. Assim, devido às pequenas dimensões dos corpos de prova, as retrações radiais e tangenciais foram determinadas nas posições 0,10 m; DAP, 25% e 50% da altura total da árvore. Apenas a retração volumétrica foi determinada até 75% de altura total.

As medições com precisão de 0,01 mm foram realizadas em dois pontos no sentido tangencial e dois pontos no sentido radial, após a saturação das amostras em água durante 35 dias e após secagem em estufa a $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

A partir dos dados obtidos, calculou-se a retração radial e tangencial (R) pela equação 2:

$$R = \frac{Dv - Ds}{Dv} * 100 \quad (2)$$

Em que: Dv = Dimensão verde (obtida no sentido radial e tangencial) após a saturação em água; Ds = Dimensão seca (obtida no sentido radial e tangencial) após secagem em estufa.

O volume seco foi determinado pelo método da balança hidrostática, precedendo-se a impermeabilização dos corpos de prova com parafina. A retração volumétrica (RV) foi estimada para cada árvore e posição de amostragem, pela equação 3:

$$RV = \frac{Vv - Vs}{Vv} * (100) \quad (3)$$

Em que: Vv = volume verde das amostras (cm³), determinado em balança hidrostática, após completa saturação das amostras; Vs = volume seco das amostras (cm³), determinado em balança hidrostática, após secagem das amostras em estufa a 105 ± 2° C, até obtenção de peso constante.

O coeficiente de anisotropia (CA) foi calculado conforme a equação 4:

$$CA = \frac{RT}{RR} \quad (4)$$

Em que: RT = Retração no sentido tangencial (%); RR = Retração no sentido radial (%).

Propriedades mecânicas

Para a determinação das propriedades mecânicas consideraram-se 12 árvores em cada espaçamento, com exclusão da 1ª classe diamétrica em função do pequeno diâmetro das toras, obtendo-se as duas primeiras toras de cada árvore com comprimento de 1,1 metros. A partir dessas, foram retiradas quatro vigas de 6,5 cm x 6,5 cm por árvore, destinadas à confecção de 24 corpos de prova (CP) para cada ensaio, com as seguintes dimensões: flexão estática (2 x 2 x 30 cm) compressão paralela às fibras (5 x 5 x 20 cm), dureza (5 x 5 x 15 cm) e cisalhamento (5 x 5 x 6,5 cm e área de cisalhamento de 2 x 5 x 1,5 cm).

Os ensaios mecânicos foram realizados na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos EMIC – DL 30.000, seguindo a norma COPANT, após o condicionamento dos corpos de prova em ambiente com 65% de umidade e 20°C de temperatura. Para o ensaio de compressão paralela às fibras, o deslocamento das fibras foi determinado com uso de extensômetro.

Análise dos dados

As variáveis foram analisadas estatisticamente sob o efeito do espaçamento e para as propriedades físicas, também em relação à posição de amostragem. Inicialmente verificou-se a homogeneidade das variâncias e ao assegurar essa premissa estatística, realizou-se a ANOVA, para verificar as possíveis diferenças estatísticas e interações entre os tratamentos. Quando a hipótese de nulidade foi rejeitada, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Todas as análises foram realizadas a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades físicas

Foram detectadas diferenças nas posições de amostragem no fuste, mas não entre os espaçamentos ($p > 0,05$) para a densidade básica da madeira. O mesmo foi verificado para a retração volumétrica determinada experimentalmente para a madeira de *Eucalyptus benthamii*. Não foram registradas interações

entre os fatores estudados ($p > 0,05$). Na Tabela 2 são apresentados os valores médios dessas propriedades em função dos fatores avaliados.

TABELA 2: Densidade básica (Db) e retração volumétrica (RV) de *Eucalyptus benthamii*, aos seis anos de idade.

TABLE 2: Basic density (Db) and volumetric shrinkage (RV) of *Eucalyptus benthamii*, at six years of age.

Fatores	Níveis dos fatores	Db (g/cm ³)	RV (%)
Espaçamento (m)	3 x 2	0,501 a	24,88 a
	3 x 3	0,498 a	26,02 a
	4 x 3	0,501 a	24,81 a
	4 x 4	0,501 a	25,58 a
Posição de amostragem	0,1m	0,523 a	27,23 a
	1,30m	0,511 ab	24,75 ab
	25%	0,503 b	24,33 ab
	50%	0,499 b	26,06 ab
	75%	0,470 c	24,23 b
CV %		7,91	23,41

Em que: RV = Retração Volumétrica estimada pela soma da RR e RT. Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV % = Coeficiente de variação. Altura média referente às posições de amostragem: 25% = 6 m; 50% = 12 m e 75% = 18 m.

Densidade básica

A variação da densidade básica da madeira observada neste estudo está de acordo com resultados encontrado por Vital, Pereira e Della Lucia (1981), Chies (2005) e Lassere et al. (2009), em que o espaçamento de plantio não causou efeito na densidade da madeira. No entanto, apesar da taxa de crescimento das árvores, determinada em especial pelo espaçamento de plantio, muitas vezes não ser capaz de alterar diretamente as propriedades da madeira, pode colaborar para a formação de maior proporção de madeira juvenil, a qual poderá afetar negativamente a qualidade do produto final.

A média aritmética da densidade básica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para todos os espaçamentos estudados foi de 0,500 g/cm³. Resultados de caracterização da madeira aos 7 anos de idade, indicaram densidade básica de 0,48 g/cm³ para o *Eucalyptus benthamii* (PEREIRA; SCHAITZA; SHIMIZU, 2001). Na caracterização tecnológica da madeira dessa mesma espécie produção de celulose kraft, Alves et al. (2011) encontraram densidade básica da madeira de 0,47g/cm³, em árvores amostradas na região de Guarapuava - PR, aos seis anos de idade. Na mesma região e na mesma idade de avaliação, Lima et al. (2011) constataram oscilação entre 0,43 – 0,51 g/cm³ na densidade básica do *Eucalyptus benthamii*, sendo a média registrada de 0,47 g/cm³.

A variação encontrada na densidade básica para a mesma espécie em diferentes estudos, embora considerada pequena, pode ser explicada pela ação dos diversos fatores que podem modificar essa propriedade. Latorraca e Albuquerque (2000), Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005) e Trevisan et al. (2007) afirmaram que a densidade básica é afetada pelos fatores inerentes ao crescimento, assim como pelos tratamentos silviculturais e principalmente pela estrutura anatômica da madeira (comprimento das fibras, ângulo microfibrilar), presença de lenho juvenil e adulto, dentre outros elementos anatômicos.

Quando comparada a densidade básica da madeira de outras espécies de *Eucalyptus*, notou-se que o *Eucalyptus benthamii* apresentou valores superiores aos clones de *Eucalyptus saligna* (0,46 g/cm³) e *Eucalyptus grandis* (0,45 g/cm³) e inferiores à densidade básica média da madeira de clones de *Eucalyptus dunnii* (0,56 g/cm³), com onze anos de idade no trabalho realizado por Batista, Klitzke e Santos (2010).

Em relação à variação longitudinal da densidade básica, identificou-se um padrão decrescente de acordo com o aumento da altura total. A base da árvore apresentou o maior valor de densidade básica, seguido pelas amostras correspondentes ao DAP e a 25% da altura e por fim da porção mediana da árvore e de 75% da altura total (Tabela 2). Esse resultado está de acordo com o observado por Pereira, Schaitza e Shimizu (2001), em que os autores descreveram tendência de redução da densidade básica do *Eucalyptus benthamii* no sentido base-topo.

Retração da madeira e Coeficiente de anisotropia

Para a retração volumétrica, observou-se decréscimo dos valores com o aumento da altura de amostragem no fuste, mas com padrão não bem definido, sendo que os valores médios foram maiores na região basal da árvore e diferente estatisticamente somente do valor médio observado a 75% da altura (Tabela 2).

De modo geral, os resultados foram mais elevados que os dados iniciais de retração volumétrica da mesma espécie, registrados por Pereira, Schaitza e Shimizu (2001), cuja média foi de $19,5 \pm 0,7\%$, aos sete anos de idade, e que a retração volumétrica das espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis* e do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*, para as quais os autores concluíram retrações volumétricas de 15,54%, 22,4% e 19,5%, respectivamente (LOULIDI et al., 2012).

Kollmann e Cotê (1968), Poubel et al. (2011) citaram que quanto mais elevada a densidade de uma espécie, maior é a contração da madeira. O fato está relacionado à maior espessura da parede e ao menor volume de lume das células, contudo, a retração da madeira é afetada também pelo ângulo das microfibrilas, em especial da camada S2.

No presente estudo, ao se tratar de árvores jovens e com propensão à formação de lenho juvenil, a ocorrência de altos valores de retração possivelmente está associada às particularidades da madeira juvenil e ao maior ângulo das microfibrilas.

Apenas a retração radial foi afetada pelo espaçamento de plantio enquanto as demais propriedades foram afetadas pela posição de amostragem no fuste. No entanto, não foi constatado efeito da interação dos fatores avaliados ($p > 0,05$). Os valores de retratibilidade são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3: Valores médios de retração radial (RR) e tangencial (RT) e coeficiente de anisotropia (CA) da madeira de *Eucalyptus benthamii*, aos seis anos de idade.

TABLE 3: Mean values of radial (RR) and tangential shrinkage (RT) and coefficient of anisotropy (CA) of wood from *Eucalyptus benthamii*, at six years of age.

Fatores	Níveis dos fatores	RR (%)	RT (%)	CA (%)
Espaçamento (m)	3 x 2	6,63 ab	15,04 a	2,33 a
	3 x 3	6,14 b	14,74 a	2,43 a
	4 x 3	7,02 a	14,74 a	2,54 a
	4 x 4	6,95 a	16,52 a	2,48 a
Posição de amostragem	0,1m	6,85 a	18,40 a	2,86 a
	1,30m	6,59 ab	16,20 ab	2,55 b
	25%	6,11 b	14,39 b	2,46 b
	50%	7,18 a	13,22 c	1,92 c
CV %		30,28	26,12	29,22

Em que: Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV % = Coeficiente de variação. Altura média referente às posições de amostragem: 25% = 6 m; 50% = 12 m.

Os espaçamentos 4 x 4, 4 x 3 e 3 x 2 m não foram estatisticamente diferentes e o espaçamento 3 x 2 m não diferiu do 3 x 3 m para retração radial. Quanto à posição de amostragem no fuste, os maiores valores de retração radial ocorreram na porção mediana, na base e na região do DAP das árvores. A variação da retração tangencial verificada foi decrescente com o aumento da altura de amostragem no fuste (Tabela 3).

Ao se compararem os resultados obtidos com os valores médios de retração radial de outras espécies de *Eucalyptus*, obtidos no estudo realizado por Oliveira, Tomazello Filho e Fiedler (2010), o resultado da retração radial média do *Eucalyptus benthamii* (6,7 %) foi inferior aos valores do *Eucalyptus paniculata* (9,4%); *Eucalyptus urophylla* (7,9%); *Eucalyptus tereticornis* (7,3%) e *Eucalyptus citriodora* (7,1%) e superior à retração radial média do *Eucalyptus pilularis* (6,4%), *Eucalyptus cloeziana* (5,7%) e do *Eucalyptus grandis* (5,0%). Para a retração tangencial, o *Eucalyptus benthamii* (15,2 %) registrou valor médio superior a quase todas as espécies anteriormente citadas, exceto ao *Eucalyptus paniculata* que apresentou retração tangencial de 15,5 %.

Diante da escassez de trabalhos publicados relatando sobre a estabilidade dimensional do *Eucalyptus benthamii*, os resultados de retratibilidade encontrados corroboraram o estudo inicial de Pereira, Schaitza e Shimizu (2001), no qual se verificou a retração média no sentido radial de $6,9 \pm 0,6 \%$ e $13,7 \pm 0,4\%$ no sentido tangencial.

Com base nos resultados, a variação dimensional verificada foi superior no sentido tangencial em relação ao sentido radial, estando de acordo com a tendência relatada por Galvão e Jankowsky (1985). A elevada retratibilidade no sentido tangencial em relação ao radial é atribuída às características anatômicas, especialmente o volume de raios e também pela restrição que a largura e a altura das células fazem no sentido radial (OLIVEIRA; TOMAZELLO FILHO; FIEDLER, 2010).

Para o coeficiente de anisotropia da madeira de *Eucalyptus benthamii*, a tendência foi de valores mais elevados conforme o aumento do espaço entre plantas, mesmo estes valores não diferindo estatisticamente entre os espaçamentos. Em relação ao aumento da altura de amostragem no fuste, esse coeficiente apresentou comportamento significativamente decrescente (Tabela 3).

Propriedades mecânicas

Flexão estática

Não se observaram diferenças para os valores do módulo de elasticidade em flexão estática (MOEf) e do módulo de ruptura (MOR) da madeira de *Eucalyptus benthamii* entre os espaçamentos avaliados ($p > 0,05$). Os valores observados para o ensaio de flexão estática são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4: Módulo de elasticidade (MOEf) e módulo de ruptura (MOR) para o ensaio de flexão estática na madeira de *Eucalyptus benthamii*, aos seis anos de idade.

TABLE 4: Modulus of elasticity (MOEf) and rupture (MOR) for testing bending wood of *Eucalyptus benthamii*, at six years of age.

Espaçamento (m)	MOEf (MPa)	MOR (MPa)
3 x 2	8330 a	74 a
3 x 3	9220 a	78 a
4 x 3	9019 a	79 a
4 x 4	8064 a	75 a
CV (%)	32,45	22,41

Em que: Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV % = Coeficiente de variação.

A resistência da madeira avaliada pelo método não destrutivo para três espécies de *Eucalyptus* (*Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus pilularis*) em diferentes densidades de plantio, na idade de seis anos, apontou que essa propriedade foi afetada negativamente nos espaçamentos com menor lotação de indivíduos (WARREN et al., 2009).

Para *Eucalyptus benthamii* com 13 anos de idade, o comportamento do módulo de elasticidade em relação à variação no teor de umidade (0 – 80%) oscilou entre 3120,1 a 10482 MPa, sendo que a 10% de umidade o valor registrado para o MOE foi de 7347,5MPa. Para o módulo de ruptura, os valores variaram de 39 a 126 MPa, sendo que com 10% de umidade o valor correspondente foi de 73 MPa (FRANÇA; CUNHA, 2012).

No presente estudo, o rápido crescimento da espécie e a pouca idade das árvores de *Eucalyptus benthamii*, contribuíram para valores diferenciados das propriedades mecânicas, pois peças estruturais que apresentam determinada quantidade de lenho juvenil são representantes das classes inferiores de resistência da madeira (VIDAURRE et al., 2011). Uma vez não verificado o efeito da área vital entre plantas na massa específica, não se observa diferença na resistência e rigidez da madeira sob diferentes espaçamentos de plantio.

Cisalhamento e Compressão Paralela às fibras

Não foram constatadas diferenças entre os espaçamentos avaliados para a resistência ao cisalhamento

($p > 0,05$), sendo que os valores variaram entre 11 e 12 MPa (Tabela 5).

TABELA 5: Resistência ao Cisalhamento (FVo), Resistência à Compressão Paralela às fibras (FCo) e Módulo de elasticidade no ensaio de Compressão (MOEc), na madeira de *Eucalyptus benthamii*, aos seis anos de idade.

TABLE 5: Shear streng (FVo), compressive streng paralell to fibers (FCo) and modulus of elasticity in compression test (MOEc), of *Eucalyptus benthamii* wood, at six year of age.

Espaçamento (m)	FVo (MPa)	FCo (MPa)	MOEc (MPa)
	11,9 a	31,23 ab	4621,19 a
3 x 2			
3 x 3	12,7 a	30,06 b	4963,31 a
4 x 3			
4 x 4	11,4 a	33,35 ab	4693,28 a
	12,2 a	34,87 a	4969,88 a
CV (%)	19,57	16,26	29,00

Em que: Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV % = Coeficiente de variação.

Com base nos dados do ensaio de compressão paralela às fibras, classes inferiores de resistência e rigidez foram observadas para a madeira de *Eucalyptus benthamii*, aos seis anos de idade, ao considerar a classificação de resistência para folhosas (ABNT NBR 7190, 1997). Para a resistência à compressão paralela às fibras, foram observadas diferenças entre os espaçamentos estudados ($p < 0,05$). A maior resistência (FCo) foi observada no espaçamento com 16 m², seguido dos espaçamentos com 6 e 12 m², e por fim do espaçamento com 9 m² (Tabela 5).

Para o módulo de elasticidade em compressão (MOEc) não houve diferença entre os espaçamentos avaliados. Analisando-se a Tabela 5, não foi possível definir uma tendência no comportamento do módulo de elasticidade para o ensaio de compressão, entre os espaçamentos, como a que foi observada para a FCo.

Dureza

Exceto no sentido tangencial, o espaçamento influenciou a dureza da madeira de *Eucalyptus benthamii*, aos seis anos de idade ($p < 0,05$). Foi possível observar que a madeira de *Eucalyptus benthamii* apresentou maior resistência à penetração no sentido axial. Isso possivelmente está associado à disposição das fibras nesse sentido e por ser um elemento que oferece sustentação e resistência mecânica à madeira.

TABELA 6: Dureza Janka no sentido axial, radial e tangencial, para a madeira de *Eucalyptus benthamii*, aos seis anos de idade.

TABLE 6: Janka hardness in the axial, radial and tangential, to *Eucalyptus benthamii* wood, at six years of age.

Espaçamento (m)	Axial (MPa)	Radial (MPa)	Tangencial (MPa)
3 x 2	45,09 a	36,92 a	40,44 a
3 x 3	38,09c	32,84b	38,55 a
4 x 3	41,48 ab	33,68 ab	38,09 a
4 x 4	42,04 ab	37,61 a	38,3 a
CV (%)	5,36	5,52	20,24

Em que: Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CV % = Coeficiente de variação.

Nos três sentidos avaliados, em alguns casos houve semelhança entre os espaçamentos. É importante ressaltar que os valores de dureza foram mais pronunciados no espaçamento 3 x 2 (Tabela 6). No sentido radial, o espaçamento mais amplo e o mais reduzido apresentaram madeiras com maior capacidade de resistir à penetração de objetos. Entretanto, os resultados foram semelhantes com o espaçamento com área vital de 12 m², e deste com o espaçamento de área vital igual a 9 m².

De acordo com os resultados encontrados, torna-se evidente que as diferentes áreas vitais entre plantas não foram suficientes para modificar as propriedades físicas e mecânicas da madeira, desse modo, qualquer um dos espaçamentos que se escolha para implantar uma floresta proporcionará madeira com propriedades semelhantes até a idade observada neste estudo. Apesar dessa observação, é possível que, indiretamente, as alterações no ritmo de crescimento das árvores, determinadas pelo espaçamento, possam ter favorecido o aumento da proporção de madeira juvenil, a qual contribuiu para elevados valores de instabilidade dimensional e a baixa resistência mecânica da madeira.

Nos casos em que foi registrado efeito do espaçamento sobre as propriedades da madeira, não foi possível definir claramente tendências entre os espaçamentos mais amplos (12 e 16 m²) ou entre os mais reduzidos (6 e 9 m²), dificultando a explicação desse comportamento em função da taxa de crescimento.

CONCLUSÕES

Os espaçamentos de plantio avaliados não causaram alterações sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii*.

A densidade básica média verificada para a espécie foi superior à de outras espécies de eucaliptos, como *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, mostrando o potencial da espécie para energia e outros usos.

Os valores de retração volumétrica e o coeficiente de anisotropia do presente estudo apontaram para uma madeira dimensionalmente instável.

Os valores registrados para as propriedades mecânicas aos seis anos de idade indicaram madeira com classes inferiores de resistência mecânica.

Uma vez que as propriedades tecnológicas se mantiveram similares com a variação do espaço vital entre plantas, é recomendado ao silvicultor, em florestas de rotação curta dessa espécie, optar por espaçamentos que favoreçam a produção volumétrica.

REFERÊNCIAS

- ALVES, I. C. et al. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para a produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p.87-95, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de Estrutura de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira – Determinação da Densidade. Rio de Janeiro, 2003.
- BATISTA, D. S.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira três clones de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.
- BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no Crescimento de um Clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75- 87, 2002.
- CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento de madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- FRANÇA, M. C.; CUNHA, A. B. Determinação da relação resistência / rigidez e teor de umidade da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Malinovski Florestal, 2012.

- GALVÃO, A. P. M.; JAKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 108 p.
- GARCIA, C. H.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, S. F. **Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos**. [s. l.]: IPEF, 1991. 8 p. (Circular Técnica, 179).
- HASELEIN, C. R. et al. Propriedades de flexão estática da madeira úmida a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.
- HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. **Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Comunicado Técnico, 100).
- KOLLMANN, F. P. P.; COTÊ, J. R. W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer, 1998. 2 v.
- LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.
- LASSERE, J. P. et al. Influence of initial planting spacing and genotype on microfibril angle, wood density, fibre properties and modulus of elasticity in *Pinus radiata* D. Don corewood. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 258, p. 1924-1931, 2009.
- LIMA, I. et al. Propriedades da Madeira de *Eucalyptus umbra* R. T. Baker em função do diâmetro e da posição radial na tora. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 3, p. 289-298, 2011.
- LOULIDI, I. et al. The physical and mechanical properties of Eucalyptus hybrid *E. camaldulensis* x *E. grandis*: Comparison with its parental species. **Research inventory: International Journal of Engineering and Science**, India, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2012.
- OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.
- POUBEL, D. S. et al. Estrutura Anatômica e Propriedades Físicas da Madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 2, p. 117-126, 2011.
- PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J. Y. **Características físicas, químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 4 p. (Circular Técnica, 50).
- TREVISAN, R. et al. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 377-387, 2007.
- VIDAURRE, G. et al. Lenho Juvenil e Adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2011.
- VITAL, B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA LUCIA, R. M. Influência do espaçamento na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, aos 30 meses de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 5, n. 2, p. 210-217, 1981.
- WARREN, E. et al. Effect of stocking on juvenile wood stiffness for three *Eucalyptus* species. **New Forests**, Dordrecht, v. 37, p. 241-250, 2009.