

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS GRANDIS* DE 10 ANOS EM TRÊS ALTURAS DIFERENTES

PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERIZATION OF 10-YEAR-OLD *EUCALYPTUS GRANDIS* WOOD AT THREE DIFFERENT HEIGHTS

Elen A. Martines Morales ⁽¹⁾ (A), Rafael Almeida Munis ⁽²⁾, Mauri Pedroso de Lima Jr. ⁽²⁾, João C. Biazzon ⁽³⁾, Anderson D. da Fé ⁽⁴⁾, Jorge Carvalho Martins ⁽²⁾, Vitor A. Neves Silva ⁽²⁾, Alex Torres de Araújo ⁽²⁾

(1) Dra. Profa., Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” - Campus de Itapeva/São Paulo, Brasil

(2) Estudante de graduação, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” de Itapeva/São Paulo, Brasil

(3) Mestre, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” - Campus de Bauru/São Paulo, Brasil

(4) Estudante de pós-graduação, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” - Campus de Guaratinguetá/São Paulo, Brasil

Dirección de contacto: elen@itapeva.unesp.br; (A) Apresentador

Código de identificação: T3-17

Resumo

Por ser de origem biológica, a madeira apresenta variabilidade em suas propriedades mecânicas entre espécies diferentes, posições variadas nas toras, madeira de árvores de idades diferentes ou de procedências geográficas diferentes, entre outros. Para a utilização eficiente de madeiras de reflorestamento mais jovens, que tenham propriedades equivalentes às desejadas de madeiras nativas, são necessários mais estudos. Especificamente para a utilização em estruturas, a madeira de *Eucalyptus* sp insere-se em classes de resistência superiores às de *Pinus* sp. O objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização físico-mecânica da madeira de *Eucalyptus grandis* proveniente da região de Itapeva-SP (Brasil), de árvores com 10 anos de idade, em três posições da base ao topo das toras, para utilização em estruturas. Todo o trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades dos Materiais, do Campus de Itapeva, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Foram utilizados os 10 primeiros metros de 4 árvores, a partir da base, divididos em 3 toras de 3 metros cada, totalizando 12 toras.

Palavras chave: caracterização de material; estruturas; *eucalyptus grandis*; madeira; propriedades físico-mecânicas

Abstract

Because wood is of biological origin, it presents variability in its mechanical properties between different species, varied positions in logs, wood of different ages trees or of different geographical origins, among others. For the efficient use of younger reforestation woods, which have properties equivalent to those desired from native woods, further studies are needed. Specifically for use in structures, the wood of Eucalyptus sp enters classes of resistance superior to those of Pinus sp. The objective of this research was to perform the physical-mechanical characterization of Eucalyptus grandis wood from the Itapeva-SP region (Brazil), from 10-year-old trees, in three positions from the base to the top of the logs, for use in structures. All research was developed in the Laboratory of Properties of Materials, of the Campus of Itapeva, of the Paulista State University “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). The first 10 meters of 4 trees were used, from the base, divided in 3 logs of 3 meters each, totaling 12 logs.

Keywords: *eucalyptus grandis*; material characterization; physical-mechanical properties; structures; wood

1. INTRODUÇÃO

A madeira, sendo uma matéria prima renovável, vem ganhando cada vez mais destaque. Suas aplicações são as mais variadas, o que acaba levando pequenos e médios empresários a investirem na comercialização da mesma e, devido ao pouco conhecimento sobre suas características físicas e mecânicas por esse público, podem acontecer aplicações indevidas desse material, o que pode causar descrédito e tornar cada vez mais difícil sua utilização para projetos relevantes.

Nas últimas décadas, verificou-se o avanço por parte da silvicultura brasileira, no melhoramento florestal e na exploração de espécies exóticas de crescimento consideravelmente rápido. Esses avanços ocorreram devido à grande produção de celulose e ao aumento na produção de carvão vegetal para o uso industrial, utilizando madeira de Eucalipto proveniente de madeira de reflorestamento [1].

No período 2000-2001, na Região Administrativa de Sorocaba, à qual pertence a cidade de Itapeva/SP, a área de plantio de *Eucalyptus* sp foi de 233.406 ha, a maior dentre todas as outras áreas reflorestadas no Estado de São Paulo [2].

Estima-se que no Brasil existam 5,10 milhões de hectares de floresta plantada de Eucalipto. Sua cultura é intensiva, com elevada produtividade da ordem de 45-60 m³/ha/ano, que está baseada, principalmente em florestas clonais [3].

O estudo das propriedades mecânicas da madeira tem se desenvolvido devido ao trabalho de diversos pesquisadores, trabalhando em sua maior parte com espécies de madeira de reflorestamento como *Pinus* e Eucalipto. O estudo dessa área é muito abrangente, pois as características apresentam variação devido a idades diferentes [4], devido ao posicionamento em relação a direção radial das toras e entre alturas diferentes [5], já que essas variações levam a variação da densidade [6], mesmo em híbridos clonais [7], sendo utilizada essa variação com sua finalidade de utilização [8] [9].

Para estudar os valores médios da densidade e do módulo de elasticidade na flexão estática da madeira de 24 árvores, com 21 anos de idade, com dimensões nominais e condução segundo as prescrições da ABNT NBR 7190:1997, Ballarin e Palma encontraram 0,62 g/cm³ e 15.306 MPa, respectivamente [10].

Em um outro estudo, Morales encontrou os valores médios dos módulos de elasticidade na compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras e flexão estática iguais a 15.306 MPa, 17.963 MPa e 17.019 MPa, respectivamente, utilizando-se madeira comercial de *Eucalyptus grandis*, sem idade definida, com dimensões nominais e condução dos ensaios segundo as prescrições da ABNT NBR 7190:1997 [12].

Lobão *et al* determinaram os valores médios da densidade e das resistências na compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento e flexão estática iguais a 0,575 g/cm³, 49,5 MPa, 75,3 MPa, 8,3 MPa e 64,7 MPa, respectivamente, de madeira comercial de *Eucalyptus grandis*, sem idade definida, com dimensões nominais e condução dos ensaios segundo as prescrições da ABNT NBR 7190:1997 [6].

O objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização físico-mecânica da madeira de *Eucalyptus grandis* proveniente da região de Itapeva-SP (Brasil), de árvores com 10 anos de idade, em três posições da base ao topo das toras, para utilização em estruturas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As toras foram provenientes de doação da Fazenda Ribeirão do Sul (Itapeva/SP), da Empresa Sudoeste Paulista, e escolheu-se 4 árvores, com no máximo 40 cm de diâmetro, por limitação de equipamentos da serraria, tomando-se o cuidado de serem o mais retilíneas possível, sem cupim ou defeitos aparentes e que encontravam-se em local viável para o operador da motosserra, o que não propiciou que as mesmas fossem selecionadas de forma totalmente aleatória. As mesmas foram

seccionadas em três partes a cada três metros a partir da base conforme o esquema representado na Figura 1.

As pranchas foram beneficiadas na serraria do Campus de Itapeva, da UNESP, obtendo-se pranchas com uma espessura nominal de 7,0 cm, considerando-se uma possível variabilidade dessa espessura através da retração para a obtenção dos corpos de prova, já que para a maioria dos ensaios físico-mecânicos a prescrição normativa é de que tenham seção transversal de 5,0 x 5,0 cm. As pranchas relacionadas a uma das toras são mostradas na Figura 1.

Em prosseguimento as pranchas foram encaminhadas a um pátio de secagem, até atingirem a umidade de equilíbrio, foram escolhidas as que possuíam menor quantidade de rachaduras para serem usinadas com a finalidade de obtenção de uma superfície plana, para a subsequente confecção dos corpos de prova de densidade, compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, flexão estática e cisalhamento. A obtenção dos corpos de prova bem como a condução dos ensaios físicos mecânicos seguiram as prescrições normativas da ABNT NBR 7190:1997 [12].



Figura 1: Pranchas de uma das toras após beneficiamento.

Para os ensaios de compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras e flexão estática foram determinados tanto os valores de resistência quanto do módulo de elasticidade, com auxílio da máquina de ensaio universal EMIC, com Célula de carga 300 kN, onde foi aplicado o carregamento de 10 MPa por minuto. A Figura 2 mostra o ensaio de um corpo de prova de flexão estática.



Figura 2: Ensaio mecânico de um corpo de prova de flexão estática.

O cálculo das médias, desvio padrão e coeficiente de variação, análise de normalidade e intervalo de confiança foram realizados através do software estatístico R, adotando o nível de significância de 5%, para os testes estatísticos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médio (M) e de desvio padrão (DP), em g/cm^3 , bem como de coeficientes de variação, em %, dos dados obtidos nos ensaios de densidade (d) obtidos nas peças da altura A, B e C estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1: Valores relativos a densidade nas três alturas.

d	Altura A	Altura B	Altura C
M	0,58	0,61	0,62
DP	0,06	0,05	0,04
CV	11,0	8,4	6,9

De acordo com o Anexo E da NBR 7190/97 [11] a densidade da espécie *Eucalyptus grandis* indicada é de $0,64 \text{ g/cm}^3$, para uma amostra de 103 corpos de prova, sem especificação da idade da madeira utilizada, sendo um valor próximo às densidades médias obtidas de cada uma das três alturas, à densidade média total de $0,60 \text{ g/cm}^3$, e também próximo a $0,62 \text{ g/cm}^3$ (madeira com 21 anos) [10]. Os valores de CV mostram que a variabilidade foi baixa.

Os valores médios (M) e de desvio padrão (DP), em MPa, bem como de coeficientes de variação, em %, de resistência (f_{c0}) e de módulo de elasticidade (E_{c0}) obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras nas peças das alturas A, B e C, corrigidos a uma umidade de 12%, estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2: Valores relativos ao ensaio de compressão paralela às fibras nas três alturas.

f_{c0}	Altura A	Altura B	Altura C	E_{c0}	Altura A	Altura B	Altura C
M	59,6	61	62,3	M	19.431	25.002	26.009
DP	7,5	8,8	7,1	DP	2.400	3.680	4.516
CV	12,6	15	11	CV	12,4	15	17

Os valores médios de f_{c0} encontrados para as peças de cada uma das três alturas, bem como o valor médio total igual a 61 MPa foram superiores aos valores 40,3 MPa [11] e 49,5 MPa [6] citados na literatura. Os valores médios de módulos de elasticidade na compressão paralela às fibras para a madeira das três alturas, bem como o valor médio total igual a 23.481 MPa, também foram superiores aos de 12.803 MPa [11] e 15.306 MPa [12] encontrados na literatura.

Os valores médios (M) e de desvio padrão (DP), em MPa, bem como de coeficientes de variação, em %, de resistência (f_{t0}) e de módulo de elasticidade (E_{t0}) obtidos nos ensaios de tração paralela às fibras nas peças das alturas A, B e C, corrigidos a uma umidade de 12%, estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3: Valores relativos ao ensaio de tração paralela às fibras nas três alturas.

f_{t0}	Altura A	Altura B	Altura C	E_{t0}	Altura A	Altura B	Altura C
M	112,5	97,3	107,6	M	17.349	19.462	20.498
DP	21,2	15,6	38,7	DP	2.312	2.306	2.214
CV	18,9	16	36,0	CV	13,3	11,8	10,8

Os valores médios de f_{t0} encontrados para as peças de cada uma das três alturas, bem como o valor médio total igual a 105,8 MPa foram superiores aos valores 70,2 MPa [11] e 75,3 MPa [6] citados na literatura. Os valores médios de módulos de elasticidade na tração paralela às fibras de 19.462 MPa e 20.498 MPa encontrados para a madeira nas alturas B e C, bem como o valor médio

total igual a 19.103 MPa, foram superiores ao de 17.963 MPa encontrado na literatura [12] e o valor 17.349 MPa encontrado para madeira da altura A foi inferior a esse valor, porém muito próximo.

Os valores médios (M) e de desvio padrão (DP), em MPa, bem como de coeficientes de variação, em %, de resistência (f_m) e de módulo de elasticidade (E_m) obtidos nos ensaios de flexão estática nas peças das alturas A, B e C, corrigidos a uma umidade de 12%, estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4: Valores relativos ao ensaio de flexão estática nas três alturas.

f_m	Altura A	Altura B	Altura C	E_m	Altura A	Altura B	Altura C
M	93,1	86,2	86,9	M	15.483	16.981	17.226
DP	12,7	15,8	18,0	DP	1.303	1.311	2.026
CV	13,7	18,3	20,7	CV	8,4	7,7	11,8

Os valores médios de f_m encontrados para as peças de cada uma das três alturas, bem como o valor médio total igual a 88,7 MPa foram superiores ao valor 64,7 MPa [6] citado na literatura. Os valores médios de módulos de elasticidade na flexão estática de 15.483 MPa e 16.981 MPa encontrados para a madeira nas alturas A e B, bem como o valor médio total igual a 16.563 MPa, foram inferiores ao de 17.963 MPa [12] porém superiores ao de 15.306 MPa [10], ambos encontrados na literatura, sendo esse último relacionado a madeira de árvores de 21 anos, sendo o valor obtido para a madeira da altura C superior a esses dois valores da literatura.

Os valores médios (M) e de desvio padrão (DP), em MPa, bem como de coeficientes de variação, em %, dos dados obtidos nos ensaios de cisalhamento (f_{v0}) obtidos nas peças da altura A, B e C, corrigidos a uma umidade de 12%, estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5: Valores relativos ao ensaio de cisalhamento nas três alturas.

f_{v0}	Altura A	Altura B	Altura C
M	11,4	9,9	10,2
DP	1,2	1,3	0,8
CV	10,4	13,1	8,1

Os valores médios de f_{v0} encontrados para as peças de cada uma das três alturas, bem como o valor médio total igual a 10,5 MPa foram superiores aos valores 8,3 MPa [6] e 7,0 MPa [11] citados na literatura.

4. CONCLUSÃO

De modo geral, os valores das propriedades físico-mecânicas determinadas superaram ou alcançaram os valores citados em literatura, quer seja com madeira de *Eucalyptus grandis* de maior idade do que 10 anos, proveniente de fonte comercial ou dos valores indicados pela ABNT NBR 7190:1997 [11], independentemente da altura considerada.

Nos casos dos módulos de elasticidade na tração paralela às fibras (altura C), o valor foi próximo ao relatado em literatura para madeira comercial e, na flexão estática (alturas A e B), os valores foram superiores ao valor de módulo de elasticidade encontrado em literatura para madeira adulta.

Esse mesmo comportamento se verifica quando são considerados os valores médios totais, repetindo-se para a flexão estática que o valor médio é superior ao valor de módulo de elasticidade encontrado em literatura para madeira adulta.

Os valores encontrados indicam a possibilidade da utilização em estruturas da madeira de *Eucalyptus grandis* de dez anos, proveniente da região de Itapeva. Esse é um fato muito importante, visto que nessa região a produção de madeira de Eucalipto é, quase que exclusivamente, para o

setor de celulose e papel. Desta forma é possível agregar valor ao material madeira e, conseqüentemente, auxiliar no desenvolvimento regional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a empresa Sudoeste Paulista pela doação das madeiras.

REFERENCIAS

- [1] Maêda, J. M. *Avaliação de parâmetros genéticos e de critérios de seleção em Virola surinamensis Warb.* Viçosa: UFV, 2000. 94p. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- [2] Kronka, F. J. N. et al. Monitoramento de vegetação natural e do reflorestamento no Estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. *Anais.* Goiânia: INPE, 2005. p. 1569-1576.
- [3] Alfenas, A. C., Zauza, E. A. V., Mafia, R. G., Assis, T. F. *Clonagem e doenças do eucalipto.* Viçosa: UFV, 2004.442p.
- [4] Silva, J. C. *Caracterização da madeira de Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.* 2002. 160p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- [5] Cruz, C. R.; Lima, J. T.; Muniz, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. *Scientia Florestalis*, **64** (2003) 33-47.
- [6] Lobão, M. S.; Lúcia, R. M. D.; Moreira, M. S. S.; Gomes, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. *Rev. Árvore*, **28** (6) (2004) 889-894.
- [7] Gonçalves, F. G.; Olivera, J. T. S.; Lucia, R. M. D.; Sartório, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla X Eucalyptus grandis*. *Rev. Árvore*, **33** (3) (2009) 501-509.
- [8] Lopes, C. S. D. *Caracterização madeira de três espécies de eucalipto para uso em movelaria.* 2007. 88p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- [9] Rocha, M. P. *Eucalyptus grandis Hill ex maiden e Eucalyptus dunnii Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias.* 2000. 185p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- [10] Ballarin, A. W., Palma, H. A. L. Avaliação do módulo de elasticidade de madeiras de reflorestamento com uso do método não destrutivo de vibração transversal. *Rev. Mad. Arq. e Eng*, **10** (25) (2009), 5-14.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira – Anexo B, Rio de Janeiro, Brasil, 1997. 107 p.
- [12] Morales, E. A. M. *Determinação do módulo de elasticidade da madeira: proposta para simplificação dos procedimentos metodológicos.* Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de materiais. p. 86. 2002.