

MÓDULO DE ELASTICIDADE DA MADEIRA DE SETE ESPÉCIES DE *Eucalyptus* POR TÉCNICA NÃO DESTRUTIVA

Pedro Nicó de Medeiros Neto¹, Mikaella Meira Monteiro¹, João Gabriel Missia da Silva², Juarez Benigno Paes³, Libânia da Silva Ribeiro⁴, Flavio Cipriano de Assis do Carmo¹,

¹ Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Patos/PB, Brasil.

³ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) (UFCG), Jerônimo Monteiro/ES, Brasil.

⁴ Pesquisadora (Pesquisadora PNPD do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande/PB, Brasil.

² Pesquisador DCR FAPES/CNPQ, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Jerônimo Monteiro/ES, Brasil.

* e-mail do autor correspondente: pedroflorestal@gmail.com <mailto:crsettejr@hotmail.com>

Resumo: O objetivo desta pesquisa foi determinar o módulo de elasticidade dinâmico da madeira, com o uso de técnica não destrutiva de sete espécies de *Eucalyptus*. Foram obtidas duas árvores por espécie com idade de 12 anos e para determinação da massa específica aparente e módulo de elasticidade dinâmico empregou-se uma tora de 2,20 m obtidas da primeira seção de cada árvore, realizadas amostragens em duas posições no sentido radial do tronco na direção medula-casca. A madeira de *Corymbia citriodora* exibiu o maior resultado de MOE_d (18093,96 MPa). Já para as posições analisadas a região de transição exibiu o maior resultado (16597, 86 MPa). Para a massa específica aparente a madeira de *Corymbia citriodora* foi a mais densa (934,41 kg cm⁻³). Madeiras com maiores densidades possuem resultados superiores no módulo de elasticidade dinâmico.

Palavras-chave: floresta plantada, variação radial, Stress Wave

MODULUS OF ELASTICITY OF SEVEN SPECIES OF *EUCALYPTUS* WOOD BY NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUE

Abstract: This study aimed to determine the dynamic modulus of elasticity of wood, using a non-destructive technique of seven species of *Eucalyptus*. Two 12-year-old trees per species were obtained and to determine the apparent specific mass and dynamic modulus of elasticity, a log of 2.20 m was used, obtained from the first section of each tree, sampling in two positions in the radial direction of the trunk in the pith-bark direction. *Corymbia citriodora* wood exhibited the highest MOE_d result (18093.96 MPa). For the analyzed positions, the transition region showed the highest result (16597, 86 MPa). For the apparent density, the wood of *Corymbia citriodora* was the densest (934.41 kg cm⁻³). Woods with higher densities have superior results in the dynamic modulus of elasticity.

Keywords: planted forest, radial variation, Stress Wave

INTRODUÇÃO

O uso da madeira representa um recurso renovável com múltiplos usos industriais, sendo utilizada no Brasil principalmente, como matéria-prima nas indústrias de celulose e papel, movelaria, produtos sólidos, painéis e a produção de carvão vegetal. E dentre as espécies utilizadas como matéria-prima, destacam as plantações com o gênero *Eucalyptus*, por apresentar rápido crescimento, curta rotação, adaptação ecológica ao ambiente e elevada produtividade.

A importância do gênero pode ser observada no relatório anual da [1], onde o setor brasileiro de florestas plantadas possui uma área de 9,55 milhões de hectares, e deste total, as plantações com espécies de eucaliptos representaram 78%, o que corresponde a 7,47 milhões de hectares.

O uso de técnicas não destrutivas para caracterizar a qualidade da madeira permite a possibilidade de reutilizar as amostras ensaiadas, além da rapidez e confiabilidade dos dados observados [2], tornando-se uma eficiente ferramenta para avaliar as propriedades físico-químicas, mecânicas e anatômicas da madeira.

Neste caso, os principais ensaios não destrutivos empregados são: vibração transversal, vibração longitudinal, *stress wave* e flexão estática [3]. E dentre estas técnicas, o uso de equipamentos que utilizam transmissão de ondas de tensão, como o *Stress Wave*, vem sendo aplicado frequentemente para determinar as características mecânicas da madeira, principalmente o módulo de elasticidade, com economia de tempo para obtenção dos dados [4].

Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi determinar o módulo de elasticidade dinâmico da madeira, com o uso de técnica não destrutiva de sete espécies de *Eucalyptus*.

MATERIAL E MÉTODOS

2 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta pesquisa foi avaliada a massa específica aparente e módulo de elasticidade dinâmico da madeira de sete espécies de eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis*; *E. grandis*; *E. urophylla*; *E. robusta*; *E. saligna*; *E. pellita* e *Corymbia citriodora*) por técnica não destrutiva.

Para o estudo foram tomadas aleatoriamente duas árvores por espécie, que representavam o diâmetro médio de cada espécie do plantio florestal, de origem seminífera, com boa fitossanidade e idade de 12 anos, provenientes de uma coleção florestal da Empresa Florestal Celulose Nipo Brasileira - CENIBRA S.A., município de Guanhães, Minas Gerais (Latitude de 18° 46' 16" Sul, Longitude de 42° 55' 55" Oeste e a 744 metros de altitude).

Para determinação da massa específica aparente e módulo de elasticidade dinâmico

empregou-se uma tora de 2,20 m obtidas da primeira seção de cada árvore. Para estas avaliações, foram realizadas amostragens em duas posições no sentido radial do tronco na direção medula-casca (cerne mediano e região de transição, contendo cerne e alburno), em virtude do diâmetro das espécies de eucaliptos estudadas (Figura 1).

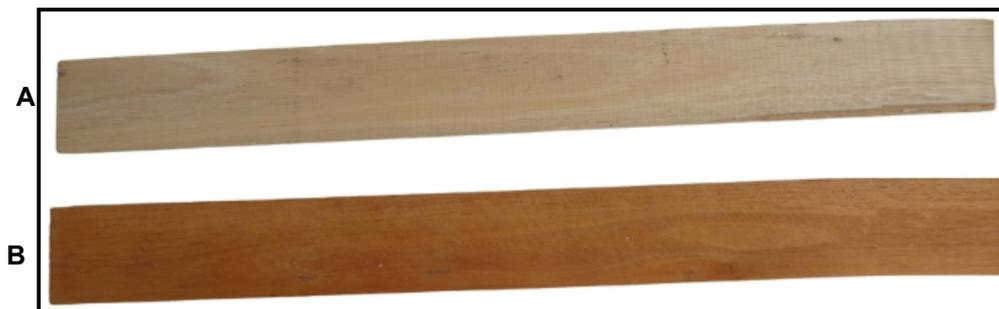


Figura 1: Posições avaliadas no ensaio com Stress Wave. A= região de transição; B = cerne mediano.

Corpos de prova das madeiras estudadas isentos de defeitos, como presença de nós, rachaduras e fendilhamento, foram submetidos a técnica não destrutiva. Foram utilizadas 20 amostras, 10 repetições de cada posição, com dimensões nominais de 50,0 x 5,0 x 2,5 cm (comprimento x largura x espessura) para cada espécie florestal, a 12% de umidade.

2.1 Propriedade físico-mecânica

O módulo de elasticidade dinâmico (MOE_d) foi determinado pela técnica não destrutiva de *Stress Wave* para cada espécie avaliada. O equipamento usado para determinação do MOE_d fornece o tempo para que a onda de tensão percorra o comprimento da amostra. A partir desse tempo, foi calculado o MOE_d (Equação 1).

$$MOE_d = \quad (1)$$

em que: MOE_d = Módulo de elasticidade dinâmico pelo Stress Wave (MPa); L = Comprimento do corpo de prova (m); t = Tempo de propagação da onda (s); D = Densidade do corpo de prova ($kg\ m^{-3}$); e g = Aceleração da gravidade ($m\ s^{-1}$).

A massa específica aparente foi determinada, conforme o pressuposto na [5], com teor de umidade das amostras a 12%, sendo utilizados os respectivos corpos de prova empregados no ensaio não destrutivo, ao mensurar o volume com paquímetro digital (0,01 mm) e pesados em balança (0,01g). Na avaliação do módulo de elasticidade dinâmico e da massa específica aparente, foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial, em que foram analisados os fatores; madeira, sete níveis e posição radial do tronco, dois níveis e a interação entre os fatores.

Foram verificadas as pressuposições de normalidade (teste de Lilliefors) e homogeneidade

das variâncias (Cochran) dos dados. Os valores, quando significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$), tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No resumo das análises de variância (Tabela 1) foi observado uma interação não significativa, quando avaliado o módulo de elasticidade dinâmico (MOE_d) para as sete madeiras de eucaliptos estudadas nas duas posições (cerne mediano e região de transição, contendo cerne e alburno). Resultado contrário foi obtido para a massa específica aparente (MEA) das espécies, em que, houve interação significativa entre os fatores espécie e posição radial.

Tabela 1: Resumo das análises de variância do módulo de elasticidade dinâmico (MOE_d) e massa específica aparente (MEA).

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	
		MOE_d (MPa)	MEA ($kg\ m^{-3}$)
Espécie	6	53357573,43**	209364,55**
Posição	1	324489667,78**	111682,04**
Espécie x posição	6	9567024,22 ^{ns}	18856,98**
Resíduo	112	5159260,23	3909,16

** Significativo ($p \leq 0,01$); ^{NS} Não significativo ($p > 0,05$) pelo teste de F.

Quando avaliado o MOE_d entre as espécies, foi constatado que a madeira de *Corymbia citriodora* exibiu o maior resultado (18093,96 MPa) e, as madeiras de *E. camaldulensis*, *E. pellita* e *Eucalyptus robusta* os menores valores (Tabela 2). Já para as posições analisadas a região de transição exibiu o maior resultado (16597,86 MPa).

Tabela 2: Valores médios da massa específica aparente (MEA) e módulo de elasticidade dinâmico (MOE_d) por técnica não destrutiva para as espécies avaliadas.

Espécies	MOE_d (MPa)	MEA ($kg\ cm^{-3}$)	
		Posições avaliadas	
		Cerne	Transição
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	12899,29 c	794,06 bA	774,28 bcA
<i>Eucalyptus grandis</i>	15457,13 b	555,25 dB	660,65 dA
<i>Eucalyptus urophylla</i>	15735,30 b	655,91 cB	745,99 bcdA
<i>Eucalyptus pellita</i>	13576,31 bc	575,48 cdB	731,47 cdA
<i>Eucalyptus saligna</i>	15184,59 b	781,46 bA	828,38 abA
<i>Eucalyptus robusta</i>	14004,99 bc	653,72 cA	712,09 cdA
<i>Corymbia citriodora</i>	18093,96 a	934,41 aA	914,25 aA
Posições avaliadas		Cerne	Transição

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem estatisticamente (Tukey; $p > 0,05$).

Para a massa específica aparente foi observado diferença estatística significativa na interação espécie x posição (Tabela 1). Assim, para esta variável a composição anatômica das posições influencia diretamente nos resultados obtidos. Quanto as posições analisadas, a região de transição exibiu os maiores valores para as espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus pellita*, nas demais madeiras o cerne mediano apresentou os maiores resultados. Já entre as espécies, o *Corymbia citriodora* foi a mais densa ($934,41 \text{ kg cm}^{-3}$) na região de transição, com as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pellita* os menores valores, $555,25 \text{ kg cm}^{-3}$ e $575,48 \text{ kg cm}^{-3}$, respectivamente.

Para a região de transição as maiores densidades aparentes foram para a madeira de *Eucalyptus saligna* e *Corymbia citriodora* ($828,38$ e $914,25 \text{ kg cm}^{-3}$). Pode ser observado que no geral, a espécie com maior densidade exibiu também maior valor médio de MO_{ed} , caso analisado para a espécie *Corymbia citriodora*.

CONCLUSÕES

Madeiras com maiores densidades possuem resultados superiores no módulo de elasticidade dinâmico;

A posição de transição apresentou maiores valores de MOE_d , independente da espécie analisada.

REFERÊNCIAS

- [1] INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. Relatório IBÁ 2021. Brasília: Disponível em: < <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf> >. Acesso em: 8 maio de 2022.
- [4] MEDEIROS NETO, P. N de.; *et al.* Efeito do teor de umidade na determinação do módulo de elasticidade da madeira por técnica não destrutiva. *Scientia Forestalis*, v.44, n.112, p.917-924, 2016. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n112.13](https://doi.org/10.18671/scifor.v44n112.13)
- [2] PAULA, M. H.; *et al.* Utilização de métodos não destrutivos para caracterização simplificada da madeira de cumaru (*Dipteryx odorata* Willd). *Biodiversidade*, v.15, n.2, p.136-149, 2016.
- [3] SOUZA, C. G. F.; *et al.* Avaliação dos módulos de elasticidade por meio de ensaios não destrutivos para madeira laminada colada. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.8, n.6, p. 47288-47298, 2022.
- [5] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: projeto de

estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.