

## **Análise não destrutiva da madeira para determinação de propriedades mecânicas de espécies nativas**

Fábio Henrique Della Justina do Carmo <sup>1</sup>; João Vicente de Figueiredo Latorraca <sup>1</sup>; Jonnys Paz Castro <sup>1</sup>; Poliane Pereira de Souza <sup>1</sup>; Glaycianne Christine Vieira dos Santos <sup>1</sup>; José Henrique Camargo Pace<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Núcleo de Pesquisa em Qualidade da Madeira / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro;

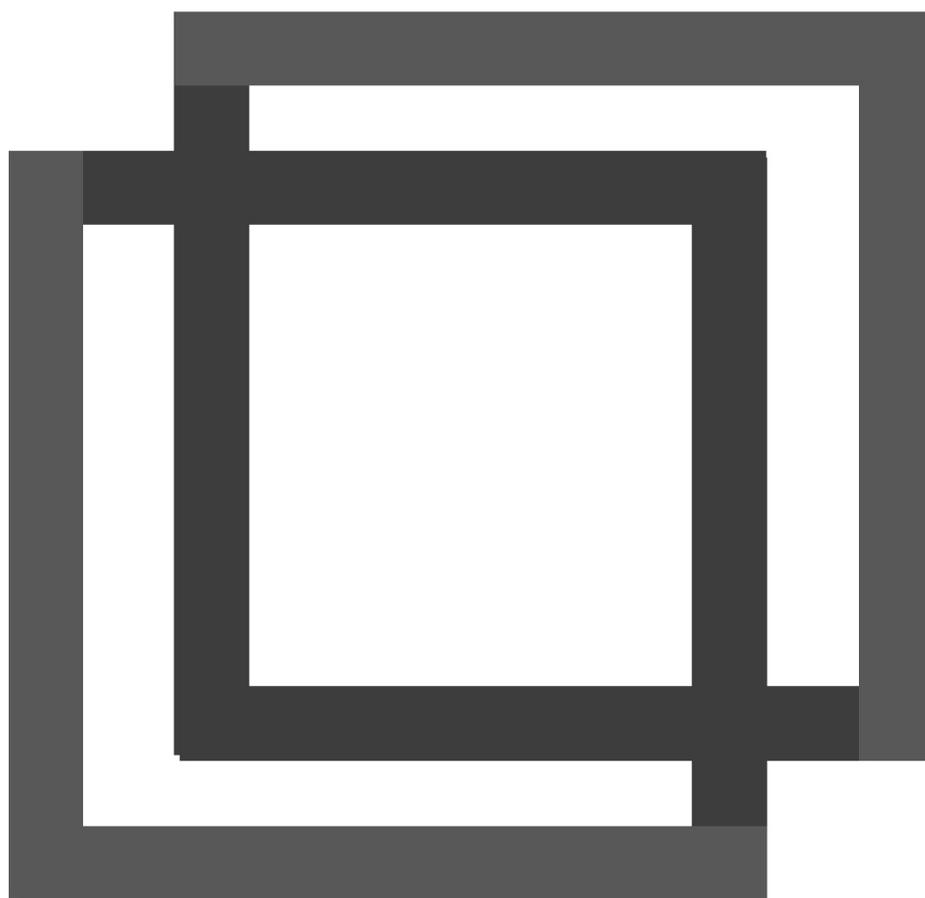
**Resumo:** As técnicas de análise não destrutivas da madeira caracterizam-se por sua precisão e agilidade na obtenção dos dados, sendo possível a reutilização da peça testada. No Brasil há poucos destes estudos direcionados a avaliação de espécies nativas provenientes de plantios homogêneos. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi determinar o Módulo de Elasticidade Dinâmico ( $E_d$ ) para espécies nativas com auxílio da técnica de ultrassom. Foram amostradas madeiras de oito espécies e selecionados 7 corpos de prova para cada. As amostras foram utilizadas para determinação da densidade aparente (12%), leituras do tempo de propagação da onda nas três direções estruturais da madeira e  $E_d$ . Observou-se comportamento semelhante, quanto a velocidade de propagação da onda nos três planos anatômicos para todas as espécies. Embora o  $E_d$  tenha relação direta com a densidade, outras propriedades da madeira influenciam seu resultado. A técnica foi eficaz na predição do  $E_d$  para as espécies estudadas.

**Palavras-chave:** Propagação de onda, Qualidade da madeira, Mata Atlântica.

### **Non-destructive testing of wood to determine the mechanical properties of native species**

**Abstract:** Non-destructive techniques for wood are known for their reliability and agility in obtaining data, being possible to reuse the tested material. There are few studies in Brazil of wood non-destructive evaluation focused in evaluating the homogeneous plantations of native species. Thus, the aim of this study was to determine the Dynamic Modulus of Elasticity (MOE) in native species, using the ultrasonic techniques. We evaluated the wood from eight native species with seven repetitions per treatment. The samples were used to determine the wood basic density (12%), time of wave propagation on three axes and MOE. It was found similar behavior for the wave propagation time for the three wood anatomical planes, for all the species. Although the MOE is related to the wood density, others wood properties may have influenced this result. The technique was effective in determine the MOE for the studies species.

**Keywords:** Wave propagation, Wood quality, Atlantic forest.



## 1. INTRODUÇÃO

Por ser um material de origem biológica, a madeira se caracteriza por sua heterogeneidade, tanto em nível interespecífico como intraespecífico. Tal característica favorece seus mais diversos usos, possuindo propriedades adequadas para os mais variados setores do mercado (Ross, 2015).

Uma das formas de se avaliar a qualidade de um material é por meio de suas propriedades mecânicas, sendo observado seu comportamento sob determinado carregamento. Tal avaliação possibilita o correto dimensionamento de um material de acordo com as exigências às quais este será submetido.

A avaliação não destrutiva, em geral, representa um conjunto de técnicas que permite identificar as propriedades físicas e mecânicas da madeira em pé e processada sem que ocorram danos, ou que sejam imperceptíveis, de forma que não haja alterações em suas características anatômicas e utilização final (Ross, 2015). Diante da possibilidade de reutilização da peça testada, precisão dos resultados, praticidade e baixo custo em relação ao método destrutivo, essas técnicas têm se tornado uma importante ferramenta para aferição das propriedades supracitadas (Paula et al., 2016). Avaliar madeiras de espécies nativas da Mata Atlântica, oriundas de plantio silvicultural, com auxílio de métodos não destrutivos é um caminho para conhecer a qualidade destas, que poderão ser direcionadas para os mais diferentes usos, porém não se tem informações concisas a respeito. Segundo Carvalho et al (2018) a qualidade final de um determinado tipo de madeira ou de uma espécie apenas será definida com precisão quando relacionadas com suas características e propriedades tecnológicas.

Estudos demonstram elevada correlação entre os módulos de elasticidade dinâmico e estático; assim, os resultados obtidos a partir da aplicação de métodos não destrutivos podem auxiliar na caracterização e ampliação dos estudos com espécies nativas (Stangerlin et al., 2008; Delucis et al., 2016; Medeiros Neto et al., 2016). Desta forma, o objetivo deste trabalho foi determinar o módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ) para espécies nativas com auxílio da técnica não destrutiva de ultrassom.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Origem e preparo do material

Foram selecionadas madeiras de oito espécies nativas, *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex

Stend. (Louro Pardo), *Astronium concinnum* (Engl.) Schott (Gonçalo Alves), *Bowdichia virgilioides* Kunth (Sucupira Preta), *Senegalia polyphylla* (DC.) Britton & Rose (Angico Preto), *Aspidosperma pyricollum* Müll. Arg. (Pequiá Sobre), *Terminalia mameluco* Pickel (Pelada), *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima (Tachi Branco) e *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth (Jacarandá da Bahia), provenientes de um plantio homogêneo, com idade entre 18 e 25 anos, pertencentes a Reserva Natural da Vale (RNV), localizada no município de Linhares, norte do Espírito Santo.

Foram utilizadas três árvores por espécie, de cada indivíduo foram confeccionados corpos de prova nas dimensões de 10 x 2,5 x 2,5 cm (longitudinal x radial x tangencial), retirados das duas primeiras toras de cada árvore. Sete amostras foram selecionadas de acordo com a sua orientação anatômica e direcionados ao ensaio não destrutivo.

Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em sala climatizada, com temperatura e umidade de aproximadamente 20 °C ( $\pm 2$ ) e 60%, respectivamente, até atingirem a umidade de equilíbrio (12%), para então serem feitas as leituras de velocidade de propagação de onda. Adicionalmente, foram medidas as dimensões das peças com auxílio de um paquímetro digital, nos três sentidos da peça e determinada a densidade aparente.

## 2.2 Determinação do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ )

Para o cálculo da velocidade de propagação da onda foram realizadas medições do tempo de propagação da onda no sentido longitudinal, radial e tangencial de cada peça, utilizando o equipamento ULTRASONIC-TESTER BP-7. Tais leituras representam o tempo despendido pela onda do transdutor emissor ao transdutor receptor, sendo o cálculo da velocidade de propagação realizado da seguinte maneira (Equação 1):

$$\text{Velocidade (m s}^{-1}\text{)} = \quad (1)$$

Para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ), utilizou-se a seguinte fórmula (Equação 2):

$$E_d = V^2 * d * 10^{-6} \quad (2)$$

Onde: V = Velocidade de propagação da onda (m s<sup>-1</sup>);  $E_d$  = Módulo de elasticidade dinâmico da madeira (GPa); d = Densidade da madeira (g cm<sup>-3</sup>); i = Plano anatômico (longitudinal, radial ou tangencial).

## 3. RESULTADOS

Foi observado, para todas as espécies, comportamento semelhante, considerando os três planos anatômicos, quanto a velocidade de propagação da onda e consequentemente nos valores do módulo de elasticidade dinâmico (Tabela 1). Tais resultados foram maiores nos sentidos longitudinais, seguidos pelo radial e tangencial.

**Tabela 1.** Parâmetros médios de densidade aparente, tempo e  $E_d$ , de espécies nativas da Mata Atlântica.

Espécie	D.A.	Tempo ( $\mu$ s)			MOE (Gpa)		
		Long.	Tang.	Rad.	Long.	Tang.	Rad.
Louro Pardo	0,519	24,00	22,87	15,46	10,3115	0,8840	1,9628
Gonçalo Alves	0,696	24,74	19,27	16,09	12,9020	1,7831	2,4801
Sucupira Preta	0,870	25,11	19,50	18,20	17,1899	1,8472	2,4400
Angico Preto	0,953	21,51	18,97	15,01	24,3947	2,4429	3,8118
Pequiá Sobre	0,932	22,89	17,29	15,07	20,9122	2,4457	3,6162
Pelada	0,618	29,19	20,60	16,51	9,4616	1,3325	2,0393
Tachi Branco	0,715	24,26	22,29	17,67	14,0742	1,3326	2,1297
Jacarandá da Bahia	0,725	27,49	19,40	16,01	11,6812	1,7113	2,6218

D.A.: densidade aparente a 12%.

Observou-se também que a densidade aparente influencia diretamente e de forma positiva os valores do  $E_d$  (Equação 2). Porém, ao analisar o comportamento entre as espécies, em algumas direções, os maiores valores de densidade não significaram maiores Módulos de Elasticidade dinâmicos. Tal comportamento pode ser observado, por exemplo, para as espécies Jacarandá da Bahia e Tachi Branco, considerando o  $E_d$  no sentido longitudinal.

#### 4. DISCUSSÃO

De acordo com Bucur (1988), a continuidade e orientação dos elementos anatômicos no sentido longitudinal são as principais causas da maior velocidade neste sentido, uma vez que as paredes celulares promovem um caminho contínuo para propagação da onda acústica. No sentido radial, a continuidade dos raios garante de forma menos pronunciada a propagação da onda acústica, o que não é observado no sentido tangencial, em que essa continuidade é inexistente, promovendo assim menores velocidades de propagação de onda.

Dundar et al. (2016) afirmaram que a velocidade ultrassônica é um método eficaz para prever a estabilidade dimensional, confirmando a aplicabilidade da análise ultrassônica nas diferentes direções estruturais da amostra. Ainda considerando as diferenças de velocidade de

propagação da onda nos diferentes sentidos anatômicos, Espinosa et al. (2019) analisando o efeito da anisotropia da madeira na propagação de onda ultrassônica, observaram que à medida em que a onda tende a seguir o percurso tangencial, sua velocidade de propagação vai diminuindo e o tempo de percurso aumentando.

Segundo Vidaurre et al. (2011), a densidade da madeira e a resistência mecânica apresentam correlação positiva, sendo que quanto maior a densidade, maiores valores de resistência mecânica são obtidos. No entanto, outros fatores são responsáveis pelos maiores ou menores Módulos de Elasticidade, como por exemplo, os próprios defeitos presentes na madeira, que muitas vezes são imperceptíveis, causando maior atenuação da onda, acarretando menores velocidades de propagação (Agrawal & Choudhari, 2010).

## 5. CONCLUSÕES

O método de ultrassom foi eficaz na predição dos Módulos de Elasticidade das espécies nos três sentidos anatômicos. Embora considerada na determinação do módulo de elasticidade dinâmico, somente a densidade não é suficiente para explicar as variações na velocidade de propagação de onda, o que indica que outras características da madeira também contribuem nesse processo.

Sendo um trabalho de caracterização preliminar, o estudo servirá como base para futuros estudos acerca das propriedades mecânicas de plantios de espécies nativas, bem como na disseminação de técnicas não destrutivas para análise das propriedades tecnológicas da madeira.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à VALE e aos seus colaboradores que trabalham na Reserva Natural Vale, pelo material cedido e auxílio nas coletas em campo.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## 7. REFERÊNCIAS

Agrawal GH, Choudhari NK. Non-destructive testing of wood using ultrasonic technique. International Journal Signal and Imaging Systems Engineering 2010; 30(10):195-207.

Bucur V. Wood structural anisotropy estimated by acoustic invariants. IAWA Bulletin 1988;

9(1):67-74.

Carvalho AM, Latorraca JVF, Reis CA, Silva CES, Carvalho PCL, Maciel NSR et al. Avaliações de qualidade da madeira em espécies nativas de plantios florestais. In: Rolim SG, Piotto D. Silvicultura e tecnologia de espécies da mata atlântica. Belo Horizonte: Editora Rona; 2018.

Deluciss RA, Missio AL, Stangerlin DM, Gatto DA, Beltrame R. Propriedades mecânicas da madeira de acácia-negra aos quatro e sete anos de idade. Ciência da Madeira 2016; 7(2):61-69.

Dündar T, Wang X, As N, Avci E. Potential of ultrasonic pulse velocity for evaluating the dimensional stability of oak and chestnut wood. Ultrasonics 2016; 66:86-90.

Espinosa L, Prieto F, Brancheriau L, Lasaygues P. Effect of wood anisotropy in ultrasonic wave propagation: A ray-tracing approach. Ultrasonics 2019; 91:242-251.

Medeiros Neto PN, Paes JB, Segundinho PGA. Determinações dos módulos de elasticidade e ruptura de madeiras por técnicas não destrutivas e destrutivas. Scientia Forestalis 2016; 44(111):683-690.

Paula MH, Mesquita RRS, Gonzalez JC, Ribeiro ES, Souza RS. Utilização de métodos não destrutivos para caracterização simplificada da madeira de cumaru (*Dipteryx odorata* Willd). Biodiversidade 2016; 15(2).

Rolim SG, Orellana E, Piotto D, Vismara ES. Modelos biométricos para plantios silviculturais com múltiplas espécies na mata atlântica do norte do Espírito Santo. In: Rolim SG, Piotto D. Silvicultura e tecnologia de espécies da mata atlântica. Belo Horizonte: Editora Rona; 2018.

Ross RJ. Nondestructive testing and evaluation of wood. In: Ross RJ. Nondestructive evaluation of wood: second edition. General Technical Report. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 2015.

Stangerlin DM, Domingues JMX, Santini EJ, Calegari L, Melo RR, Gatto DA et al. Obtenção do módulo de elasticidade em madeiras de *Patagonula americana* e *Araucaria angustifolia* por meio do método ultra-sonoro. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal 2008; 11:1-15.

Vidaurre G, Lombardi LR, Oliveira JTS, Arantes MDC. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. Floresta e Ambiente 2011; 18(4):469-480.