



IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA *Manilkara sp.* ATRAVÉS DE MÉTODOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF WOOD *Manilkara sp.* THROUGH DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE METHODS

Silva, Gabriel ^{(1)*}; Sena, Caroline ⁽¹⁾; Santos, Filipe ⁽¹⁾; Cunha, Rita ⁽²⁾ César, Sandro Fábio ⁽³⁾

⁽¹⁾ Mestrando(a). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, Brasil

⁽²⁾ Prof. Dra. Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia. Salvador, Brasil

⁽³⁾ Prof. Dr. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, Brasil

* Contato: gbrdourado@gmail.com

CÓDIGO: 4477681

Resumo

A avaliação das características mecânicas da madeira através de ensaios não destrutivos tem atraído cada vez a atenção da comunidade acadêmica devido as suas vantagens quando comparado com os métodos destrutivos convencionais. Os ensaios não destrutivos apresentam menor custo e são mais rápidos, além de preservarem o material, representando uma opção econômica e prática. Desta forma, o objetivo deste estudo foi caracterizar a madeira de maçaranduba (*Manilkara sp.*), de ampla comercialização no Brasil, utilizando os métodos não destrutivos de ultrassom, visando a ampliação da utilização destas técnicas na caracterização tecnológica da madeira e a melhor empregabilidade desta espécie pela indústria madeireira. Para isto, utilizou-se um emissor de ondas ultrassônicas, o qual teve sua sensibilidade avaliada através da comparação com os valores obtidos no ensaio destrutivo de compressão paralela às fibras. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o método não destrutivo adotado classificou a madeira de Maçaranduba de forma adequada.

Palavras-Chave: Manilkara sp., Propagação de ondas, ensaio não destrutivo.

Abstract

The evaluation of the mechanical characteristics of wood through nondestructive testing has attracted the attention of the academic community because of its advantages when compared to conventional destructive methods. The non destructive tests are less expensive and faster to gauge, besides preserving the material, representing an economical and practical option. In this way, the objective of this study was to characterize the Maçaranduba wood (*Manilkara sp.*), widely commercialized in Brazil, using non-destructive methods of ultrasound, aiming to increase the use of these techniques in the characterization of the wood and the best employability of this species by the timber industry. For this, an ultrasonic wave emitter was used, which had its sensitivity evaluated by comparison with the values obtained in the destructive compression test parallel to the grain. From the obtained results, it was concluded that the non-destructive method classified the Maçaranduba wood in an appropriate way.

Keywords: Manilkara sp., wave propagation, non-destructive test.



1. INTRODUÇÃO

A madeira de Maçaranduba pertence ao grupo de espécies de árvores do gênero *Manilkara*, estando englobado na família das *Sapotaceae*. Muito empregada na construção civil no Brasil, é possível verificar a sua ocorrência nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Paraná, Rio de Janeiro, Rondônia e Santa Catarina. O seu cerne é vermelho, variando de claro a escuro, e sem brilho. A sua densidade é elevada, o que dificulta o seu corte. Possui resistência ao ataque de seres xilófagos e fungos (IPT, 2015).

A qualidade da madeira varia de acordo com a espécie, sendo que escolher sua destinação depende da correta caracterização, o que levará um melhor aproveitamento do material para fabricação do produto final. É necessário traçar um perfil descritivo da madeira com ênfase nas propriedades físicas, mecânicas e organolépticas ao qual devem predizer a melhor utilização deste material, ou como madeira serrada, movelaria ou uso estrutural (Paula et al., 2016).

Nos últimos anos, a avaliação não destrutiva da madeira tornou-se uma importante ferramenta na inferência de propriedades físicas e mecânicas deste material, devido, principalmente, ao baixo custo dos equipamentos, rapidez e praticidade dos testes, que podem ser aplicados por diferentes métodos, na avaliação dos parâmetros de qualidade da madeira (Ballarin e Nogueira, 2005).

A classificação da madeira a ser determinado pelo ensaio não destrutivo é influenciado pelo tamanho da peça, orientação das fibras, teor de umidade, espécie e umidade. Diversas pesquisas apontam que este método é eficiente para determinação das propriedades mecânicas de resistência a flexão (Stangerlin et al., 2008).

A velocidade de ultrassom também poder ser relacionada com a resistência a compressão, com isso, o objetivo do trabalho foi comparar a eficiência dos métodos de classificação utilizando os métodos propostos na norma brasileira NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeiras (ABNT, 1997) e com ensaios não destrutivos previsto na norma brasileira NBR 15521 – Ensaio não destrutivos – ultrassom – Classificação mecânica de madeira serrada de dicotiledôneas (ABNT, 2007).

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais

Os corpos-de-prova foram produzidos a partir de 15 peças de *Manilkara sp.* com seção comercial de 14,5 x 5,5 cm e comprimento de 300 cm. Em seguida, as peças foram seccionadas em duas partes com comprimento de 180 cm e 120 cm. Extraíu-se a partir das peças de 180 cm, segmentos para confecção de 15 corpos de prova para o ensaio de compressão paralela às fibras com dimensões 5 cm x 5 cm x 15 cm.



2.2. Métodos

2.2.1. Ensaio de Ultrassom

Para determinação do módulo de elasticidade dinâmico da madeira, considerando todos os defeitos de formação presentes nas peças, aproximando-se dos valores de utilização da peça foi realizado os ensaios não destrutivos - Ultrassom - Classificação mecânica de madeira serrada de dicotiledôneas conforme a NBR 15521 (ABNT, 2007).

Neste ensaio, foi utilizado aparelho de ultrassom *Proceq Pundit Lab (+)* com resolução de 0,1 μ s e transdutores de face plana, com frequência de 54 kHz, mostrado na Figura 1. Para a realização da leitura do tempo de percurso do pulso ultrassônico nos corpos de prova, os transdutores foram posicionados na base e no topo das peças, com o auxílio de um gel condutor utilizado como acoplante. O intuito da medição com esse aparelho é determinar propriedades de resistência e elasticidade da madeira através de um ensaio não destrutivo.



Figura 1 – Aparelho de ultrassom utilizado no ensaio não destrutivo.

A determinação da velocidade de propagação das ondas por ultrassom foi feita inicialmente nas peças de 180 cm e de 120 cm, em seguida, foi determinada velocidade de propagação nos corpos de prova confeccionados para os ensaios mecânicos (5x5x15cm). Dessa forma, pretende-se comparar os resultados utilizando diferentes comprimentos de peças, permitindo avaliar a influência dos defeitos na madeira. A velocidade de propagação das ondas foi encontrada através da Equação **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

$$V_{LL} = \frac{L}{t} \quad (1)$$

Sendo V_{LL} a velocidade de propagação das ondas na direção longitudinal; L é o comprimento do percurso e t é o tempo de propagação das ondas.

Tendo em vista que a classificação da norma segundo a velocidade de propagação é feita de acordo com a velocidade saturada, foi feita medição da umidade da peça com medidor xilohigrômetro com agulhas, onde foi encontrado umidade dentro do intervalo de 13% e 30 %. Em seguida, a correção da velocidade para a velocidade na condição saturada foi encontrada na equação (2):



$$V_{LLsat} = -1745 + V_{LL} + 16 \times U + \rho_{ap} \quad (2)$$

Sendo V_{LLsat} o valor numérico da velocidade na peça saturada, com teor de umidade maior que 30 %, expresso em metros por segundo (m/s); V_{LL} é o valor numérico da velocidade na peça com teor de umidade entre 12 % e 30 %, expresso em metros por segundo (m/s); U é o valor numérico do teor de umidade da viga, expresso em porcentagem (%); ρ_{ap} é o valor numérico da densidade aparente da viga na umidade $U(\%)$, expresso em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3).

Após obter os resultados de V_{LLsat} para cada corpo de prova ensaiado, a madeira foi enquadrada de acordo com as classes de resistência presentes na **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** da NBR 15521 (ABNT, 2007).

Tabela 1 - Classificação por ultrassom da madeira de dicotiledônea (UD). Fonte: NBR 15521 (ABNT, 2007).

| Classe | V_{LLsat} m/s | C_{LL} 12 % Mpa | E_M 12 % MPa | $f_{c0,k}$ 12 % MPa | $E_{c0,m}$ 12 % MPa |
|--------|--------------------|----------------------|-------------------|------------------------|------------------------|
| UD-20 | $V_{LLsat} < 3040$ | < 10620 | < 6750 | 20 | 8000 |
| UD-25 | 3040 – 3690 | 10620 – 13000 | 6750 – 10420 | 25 | 12000 |
| UD-30 | 3690 – 3950 | 13000 – 15400 | 10420 – 13020 | 30 | 14000 |
| UD-35 | 3950 – 4140 | 15400 – 17800 | 13020 – 14920 | 35 | 15000 |
| UD-40 | 4140 – 4300 | 17800 – 20150 | 14920 – 16520 | 40 | 16500 |
| UD-45 | 4300 – 4390 | 20150 – 22500 | 16520 – 17420 | 45 | 18500 |
| UD-50 | 4390 – 4490 | 22500 – 24900 | 17420 – 18420 | 50 | 19500 |
| UD-55 | 4490 – 4600 | 24900 – 27300 | 18420 – 19120 | 55 | 20500 |
| UD-60 | $V_{LLsat} > 4600$ | > 27300 | $E_M > 19120$ | 60 | 21200 |

As classes de resistência encontradas para o ensaio de ultrassom foram posteriormente comparadas entre si (classificação obtida a partir dos diferentes comprimentos das peças) e com os resultados obtidos através dos ensaios destrutivos.

2.2.1. Caracterização das propriedades físicas da madeira

Com o objetivo de determinar as características físicas da madeira foram realizados os ensaios de densidade e da umidade conforme os procedimentos presentes na norma ABNT NBR 7190 (1997). Para estes ensaios, foram produzidos quinze corpos de prova de seção transversal com 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento, ao longo das fibras, de 5,0 cm como apresentados na Figura 3.

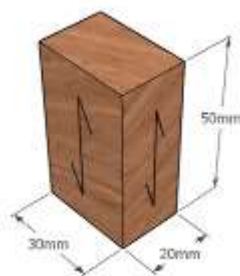


Figura 1- Dimensões do corpo de prova de densidade e umidade



A massa inicial (m_i) dos corpos de prova foi determinada, utilizando uma balança digital, para, em seguida, colocá-los na estufa, à temperatura de $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. Para a definição da massa seca, os corpos de prova foram pesados em intervalos de 6 horas, até ocorrer uma variação de massa igual ou inferior a 0,5% em relação à medição anterior. Conhecida a massa seca, determinou-se o teor de umidade da madeira, pela Equação (3):

$$U\% = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (3)$$

Sendo U (%) a umidade à base seca, m_i a massa inicial da madeira (g) e m_s a massa da madeira seca (g). Após a aferição dos pesos secos, os corpos de prova foram submetidos a saturação e de maneira inversa, foram aferidas as massas dos corpos de prova de 6 em 6 horas até se obter uma variação menor do que 0,5%. A densidade básica é a relação entre a massa seca e o volume saturado, expressa na Equação **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

$$\rho_{bas} = m_s / v_{sat} \quad (4)$$

sendo ρ_{bas} a densidade básica (kg/m^3), m_s a massa seca (kg) e v_{sat} volume saturado (m^3).

2.2.2. Ensaio de Compressão Paralela às Fibras

O ensaio de compressão paralela às fibras da madeira foi realizado conforme os métodos previstos na NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira (ABNT, 1997). Foram ensaiados 15 corpos-de-prova prismáticos na dimensão de 5,0 x 5,0 x 15,0 cm.



Os resultados foram posteriormente comparados com a classificação obtida no ensaio não-destrutivos. A determinação da resistência ($f_{wc,0}$ ou f_{c0}) foi obtida por meio da Equação (5):

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,máx}}{A} \quad (5)$$

Onde: f_{c0} , resistência a compressão paralela às fibras; $F_{c0,máx}$, força máxima de compressão aplicada no corpo de prova; A , área resistente.



Foi estimada a resistência característica conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997) com a utilização da Equação (1).

$$f_k = \left(2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n-1}{2}}}{\frac{n}{2} - 1} - f_{\frac{n}{2}} \right) \times 1,1 \quad (1)$$

Sendo, f_k o valor característico, n: número total de ensaios. Para o cálculo, os valores das resistências são dispostos do menor para o maior, $f_1 < f_2 \dots < f_n$, caso a quantidade de valores seja ímpar, o maior valor deve ser desconsiderado. Além disso, a norma especifica que a resistência característica é o maior valor entre f_k , f_1 ou 0,7 do valor médio de todos os resultados.

3. ANÁLISES DE RESULTADOS

3.1. Ensaio não destrutivo - Propagação de ondas sonoras

A NBR 15521 (ABNT, 2007) apresenta equações para determinação da velocidade de propagação das ondas, e a partir desse resultado propõe uma classificação da madeira a partir da velocidade encontrada. Essa norma, entretanto, foi elaborada para aplicação em madeiras serradas, e a relação representada na tabela de classificação das madeiras foi obtida por meio de ensaios com madeiras adultas e de espécies com densidade aparente variando de 450 Kg/m³ a 1 100 kg/m³.

Os valores encontrados nos ensaios de densidade foram de 992,74 kg/cm³ para densidade básica do lote e 1180,79 kg/cm³ para densidade aparente. Em comparação com o valor de referência da NBR 7190 (ABNT, 1997) para madeira de Maçaranduba, foram encontrados valores de densidade muito próximos 1180,79 kg/m³ para madeira estudada e 1143,00 kg/m³ como valor de referência da norma Na Tabela2 estão contidos os resultados obtidos para o ensaio não -destrutivo, considerando os três comprimentos analisados.

Tabela 2 - Resultados do ensaio de propagação de ondas sonoras.

| Estatística descritiva | Ensaio de propagação de ondas sonoras | | |
|--|---------------------------------------|--------|--------------|
| | Seção 14,5 x 5 cm | | Seção 5x5 cm |
| | Comprimento | | |
| | 180 cm | 120 cm | 15 cm |
| V_{LLint} – valor médio | 4637,6 | 4876,5 | 5071,8 |
| V_{LLsat} – valor médio | 4366,0 | 4604,9 | 4800,2 |
| Desvio padrão | 533,6 | 264,7 | 255,1 |
| Coefficiente de variação | 12% | 6% | 5% |
| Quantidade de amostras | 15 | 15 | 15 |

Na Tabela2 observa-se que os valores obtidos para velocidade de propagação de ondas de ultrassom na direção longitudinal às fibras, denominado V_{LLsat}, apresentaram valores superiores à medida que se reduziu o comprimento dos corpos de provas ensaiados. Esta



redução implicou também na menor dispersão entre os valores obtidos, como se pode observar através dos valores dos coeficientes de variação (12%, 6% e 5%) para os respectivos comprimentos de 180 cm, 120 cm e 15 cm. A **!Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**2 ilustra a dispersão dos dados obtidos.

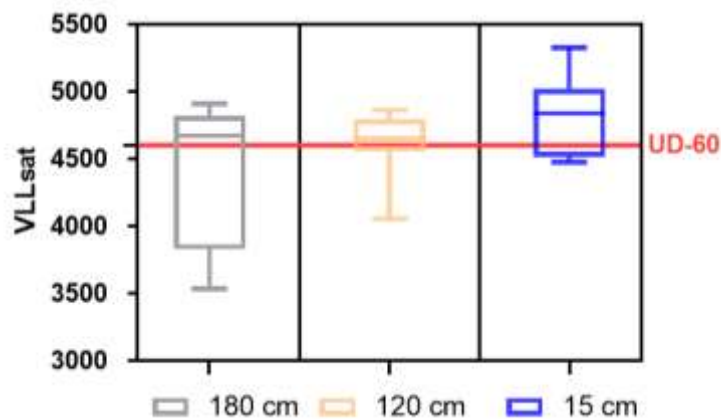


Figura 2 – Box-plot da distribuição das classes de resistência obtidas por ensaios não destrutivos.

Ao comparar a classificação obtida para os diferentes comprimentos, percebe-se que os corpos de prova com 180 cm de comprimento apresentaram valores inferiores para o V_{LLsat} , devido a maior presença de defeitos e discontinuidades. Atribui-se esse fato a possibilidade de existência de defeitos internos e mudanças na direção das fibras, que se reduzem à medida que a madeira é serrada.

Apesar dos valores mais baixos encontrados na medição das peças maiores, a média do V_{LLsat} para as três situações testadas, desconsiderando os valores discrepantes, alcançou valores acima de 4600 m/s, valor mínimo que classificaria a madeira como UD-60, possuindo valores de resistência a compressão paralela às fibras à 12% de umidade (f_{c0} 12%) iguais a 60 MPa de acordo com a NBR 15521 (ABNT, 2007).

3.2. Ensaio de compressão paralela

Na Tabela 3 estão contidos os resultados obtidos dos ensaios de compressão paralela às fibras e a Figura 3 ilustra a dispersão dos dados para os valores de resistência a compressão paralela.

Tabela 3 – Resultados para o ensaio de resistência a compressão paralela às fibras (f_{c0}).

| Estatística descritiva | Compressão paralela às fibras |
|---|----------------------------------|
| | MOR |
| Média da umidade instantânea das amostras | 13,41% |
| Valor médio U=12%(MPa) | 72,42 |
| Desvio padrão | 7,76 |
| Mediana (MPa) | 73,05 |
| Coeficiente de variação | 10,71% |



| | |
|----------------------------|-------|
| Valor mínimo (MPa) | 57,02 |
| 70% do valor médio (MPa) | 50,70 |
| Valor característico (MPa) | 64,96 |
| Quantidade de amostras | 15 |

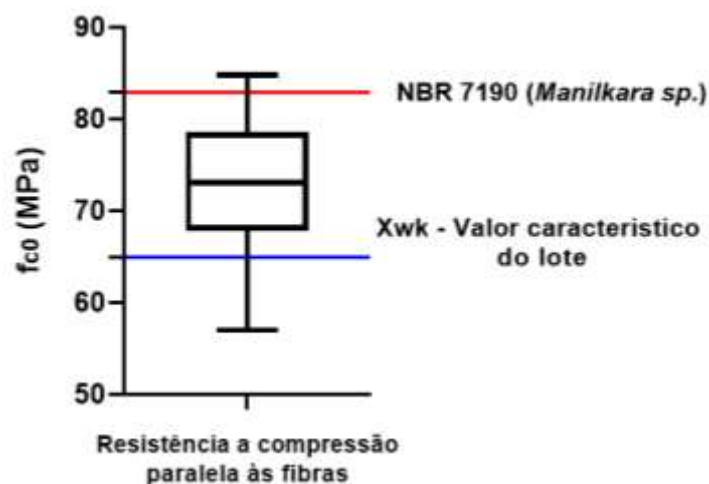


Figura 3–Box-plot – Ensaio de compressão paralela às fibras

Ao analisar a **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, observa-se uma diferença significativa entre os valores de resistência característica do lote e o valor indicado pela norma. Tal diferença pode ser explicada pelo valor mínimo obtido no ensaio do lote estudado de 57,02 Mpa, valor inferior mais discrepante. Através do tratamento estatístico indicado, o valor característico foi de 64,96 MPa. Em comparação com as demais publicações que avaliaram a resistência da madeira de Maçaranduba, o valor médio encontrado para a compressão paralela às fibras foi superior ao citado Souza et al. (2002) que foi de 64,80 Mpa e inferior ao referido por Rosa et al. (2014) correspondente a 98,07 Mpa.

A classificação obtida pelo ensaio não destrutivo que classificou o lote como UD-60, considera o valor de resistência a compressão paralela às fibras de 60 MPa. Logo pode-se considerar que o procedimento disposto na NBR 15521 (ABNT, 2007), na avaliação da madeira de maçaranduba, ofereceu valores condizentes com o ensaio destrutivo proposto pela NBR 7190 (ABNT, 1997) que também classifica a madeira de Maçaranduba como classe C60 definindo valores mínimos de resistência à compressão paralela às fibras de 60 Mpa.

4. CONCLUSÃO

Com base nos valores obtidos pela caracterização mecânica através do ensaio destrutivo, a madeira de maçaranduba estudada foi classificada como de uso estrutural na classe de resistência C60, conforme a normatização técnica.



Os métodos não destrutivos de propagação de ondas ultrassônicas obtiveram boa estimativa da resistência a compressão paralela às fibras. A menor dispersão nos resultados foi encontrada nas peças de menores comprimentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Madeiras (LabMad/UFBA), ao Laboratório de Ensaio em Durabilidade dos Materiais (LEDMA/UFBA) da Universidade Federal da Bahia e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio oferecido na realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2007). NBR 15521 - Ensaio não destrutivo - ultrassom - Classificação mecânica de madeira serrada de dicotiledôneas. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas.(1997). ABNT. NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

Ballarin, A.W.; Nogueira, M. (2005). Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultrassom. Eng. Agríc., v. 25, n. 1, p.19-28, jan./abr. Jaboticabal.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). (2015) Informações sobre madeiras - Maçaranduba. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/4.htm> Acesso em: 22 julho.

Paula et al. (2016). Utilização de métodos não destrutivos para caracterização simplificada da madeira de cumaru (*Dipteryx odorata Willd*). Biodiversidade, v. 15, n. 2, p. 136.

Rosa, R. A. et al. (2014). Caracterização da madeira de Maçaranduba (*Manilkara sp.*) por métodos destrutivos e não destrutivos Ciência da Madeira (*Braz. J. Wood Sci.*) v. 05, n. 01, p. 68-78, Maio de 2014 ISSN: 2177-6830, Pelotas.

SOUZA, M. H. et al. (2002). Madeiras tropicais brasileiras. 2ed: Edições IBAMA, 152p. Brasília.

Stangerlin, et al. (2008). Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não-destrutivo. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 3, n. 2, p. 145–150.