

## **Propriedades acústicas e o efeito da radiação UV nas cores de madeiras nativas e exóticas.**

Gabriel Iuri Candido Leandro<sup>1</sup>, Alexandre Miguel do Nascimento<sup>1</sup>, Jaqueline Rocha Medeiros<sup>1</sup>, Rogério Rodrigues dos Santos<sup>1</sup>, Francisco Antônio Lopes Laudares<sup>1</sup>, Caroline da Silva Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Florestas (IF), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica/RJ, Brasil

**Resumo:** A madeira é um material bastante utilizado no mundo seja em arquitetura, instrumentos, móveis, estruturas, entre outros. Seu valor estético ainda é apreciado principalmente pelas cores característica do material, além de seu uso sobre suas propriedades acústicas, porém, os seus componentes químicos são sensíveis a mudança de cor na presença de luz solar. Dito isto, o trabalho em questão objetivou mensurar a variação de cor em seis espécies de madeiras, após aplicação de radiação ultravioleta sendo assim um tratamento de envelhecimento artificial acelerado em tempo de 120 horas e caracterizar as propriedades acústicas. As cores foram coletadas nos parâmetros CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$ ) e acústica por ensaio não destrutivo de propagação de ondas transversal. Amostras de Pinus, Marupá e Freijó obtiveram melhores resultados de eficiência acústica, sendo mais indicadas para produção de instrumentos. Pela colorimetria as madeiras de Muiracatiara, Marupá e Pinus sofreram maiores variações com interação de UV.

**Palavras-chave:** Colorimetria, Produtos florestais, Envelhecimento acelerado.

## **Acoustic properties and the effect of UV radiation on the colors of native and exotic woods.**

**Abstract:** Wood is a material widely used around the world, whether in architecture, instruments, furniture, structures, among others. Its aesthetic value is still appreciated mainly due to the material's characteristic colors, in addition to its use on its acoustic properties, however, its chemical components are sensitive to color change in the presence of sunlight. That being said, the work in question aimed to measure the color variation in six species of wood, after application of ultraviolet radiation, thus an accelerated artificial aging treatment over a period of 120 hours, and to characterize the acoustic properties. The colors were collected in CIELAB parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  and  $h^\circ$ ) and acoustics by non-destructive transverse wave propagation test. Samples of Pine, Marupá and Freijó obtained better acoustic efficiency results, being more suitable for instrument production. By colorimetry, Muiracatiara, Marupá and Pinus woods suffered greater variations with UV interaction.

**Keywords:** Colorimetry, Forest products, Accelerated aging.

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é frequentemente considerada um material decorativo e ecológico, com uma textura natural única e uma variedade de cores que evocam sentimentos de intimidade, conforto e calor. As preferências estéticas individuais em relação à madeira geralmente se baseiam em duas dimensões visuais principais: textura e cor. A textura da madeira, incluindo a presença de nós na superfície, e a cor desempenham papéis importantes na forma como as pessoas percebem e apreciam sua beleza (Dai *et al.*, 2022).

A colorimetria pode ser aplicada de várias maneiras à madeira, como facilitar a comercialização ao identificar madeiras por suas características colorimétricas e diferenciar entre cerne e alburno. Além disso, a coloração da madeira resulta de substâncias corantes depositadas no interior das células que compõem o material lenhoso, bem como impregnadas nas paredes celulares. A exposição à radiação ultravioleta (UV) também pode causar mudanças na cor da madeira, com penetração de até 75 µm na superfície (Júnior; Lengowsk, 2018). A absorção de luz torna as madeiras suscetíveis à fotodegradação, especialmente a degradação da lignina (Sonderegger *et al.*, 2015).

Além disso, a madeira possui propriedades acústicas que a tornam ideal para melhorar a qualidade sonora em ambientes internos. Ela absorve som eficientemente, reduzindo a transmissão de ruídos entre diferentes áreas. Nos instrumentos musicais, a madeira é escolhida por sua capacidade de produzir timbres ricos e ressonantes, como em violões, violinos e pianos (Portela, 2014).

O objetivo deste trabalho é investigar e mensurar as propriedades acústicas de seis espécies de madeira e sua variação de cor causada pela radiação ultravioleta.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 *Preparação das amostras*

Pranchas de madeiras de *Cordia alliodora* (Freijó), *Astronium lecointei* (Muiracatiara), *Pinus spp.*, *Khaya ivorensis* (Mogno africano), *Simarouba amara* (Marupá),

*Cordia glabrata* (Louro preto), passaram por processamento no Laboratório de Processamento Mecânico da Madeira do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) para garantir as dimensões das amostras em 6 mm x 35 mm x 211 mm (espessura x largura x comprimento).

Após corte, as amostras foram armazenadas e aclimatizadas em ambiente com umidade relativa de 65% e temperatura média de 22°C, até massa constante. Após massa estável, foram ensacadas e armazenadas para ensaios posteriores.

## 2.2 Medição da cor

Foram coletados dados dos parâmetros ( $L^*$ ,  $C^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $h^\circ$ ) antes e depois do tratamento da madeira com UV.

A primeira medição foi realizada antes da submissão das amostras ao tratamento de envelhecimento acelerado, usando o espectrofotômetro portátil CM 2600d, versão 1.41, da Konica Minolta Sensing, Inc, seguindo o espaço de cores CIELAB. O sistema CIELAB é composto por 5 parâmetros,  $L^*$  representa a luminosidade,  $a^*$  representa a tonalidade amarela ( $+a^*$ ) e verde ( $-a^*$ ) e  $b^*$  representa o gradiente de tonalidade amarelo ( $+b^*$ ) e azul ( $-b^*$ ), além disso é composto por parâmetros de saturação ( $C^*$ ) (equação 1) que é dependente da distância da luminosidade e " $h^\circ$ " que representa o ângulo de tonalidade (equação 3) (Konica Minolta, 1998), com quatro repetições por amostra.

Para avaliação da mudança de coloração foi utilizado metodologia proposta por Hikita *et al.* (2001) e adotadas em trabalhos como Laudares (2022).

$$(1) \quad C^* = (a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$$

$$(2) \quad \Delta E = ((\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta c^*)^2)^{1/2}$$

$$(3) \quad h^\circ = \tan^{-1}(a^*)^2/(b^*)^2$$

Em que  $\Delta E$  (equação 2) representa a variação de cor após o tratamento de radiação ultravioleta.

Para uma análise visual e qualitativa das amostras, foram feitas imagens em fases anteriores e posteriores ao tratamento para efeito de comparação.

### **2.3 Tratamento de envelhecimento acelerado**

O teste de envelhecimento acelerado foi conduzido em uma câmara de ensaio climático QUV Weathering Testers, fabricada pela Q-Lab, modelo QUV/Spray, equipada com 8 lâmpadas fluorescentes UVA-340, que imitam a luz solar numa faixa de comprimento de onda de 295 a 365 nm, com picos de emissão em 340 nm.

As madeiras foram expostas a radiação em um ciclo de tempo de 120 horas à  $0,68 \text{ W.m}^{-2}$  com emissão de ultravioleta no comprimento de 340nm, o que equivale a exposição solar de aproximadamente 1 ano e meio. As amostras foram posicionadas no sentido vertical, com apenas uma face exposta às lâmpadas.

### **2.4 Ensaio não destrutivo de propagação de ondas**

Para a caracterização acústica das espécies, utilizou-se o método de vibração transversal, conforme a norma ASTM E1876 (2022). Nesse método, a amostra é suspensa entre dois pontos de apoio paralelos, localizados a uma distância de 0,224 vezes o comprimento longitudinal da amostra a partir das extremidades livres. Esses pontos coincidem com os pontos nodais do primeiro harmônico. Durante o teste, aplicam-se impactos transversais no centro da amostra usando um martelo devidamente dimensionado. As ondas sonoras são captadas por um hardware, como um microfone, e um software chamado Fast Fourier Analyzer (FFT) da FAKOOP® Enterprise, oposto ao impacto gerado no centro da amostra. O primeiro harmônico corresponde à frequência natural de vibração (fr) da amostra (De Jesus, 2023).

A atenuação acústica foi determinada pelo amortecimento por decremento logarítmico (DI), também conhecido como Logarithmic Decrement of Damping (LDD). Nesse método, registra-se a resposta de frequência do sistema após uma excitação por impulso (De Jesus, 2023). A atenuação (equação 4) é calculada pela razão entre duas amplitudes sucessivas do sinal no domínio do tempo. Apesar da equação 4, o software FFT Analyzer da FAKOPP® Enterprise fornece o decremento logarítmico de forma automatizada.

$$(4) \quad Dl = (1.n^{-1}) \ln A0.An^{-1} \approx \pi x \tan \delta$$

Para determinar as propriedades acústicas do material foi determinado o módulo de elasticidade dinâmico de acordo com a equação 5 descrita também em outros trabalhos sobre métodos de ressonância como Laudares (2022).

$$(5) \quad Ed = (0,9464\rho \cdot f n^2 \cdot L^4)h^{-2}$$

Onde que, “Ed” represente módulo de elasticidade dinâmico, “h” representa espessura da barra, “ρ” representa a densidade da amostra, “f<sub>n</sub>” representa a frequência de vibração, “L” representa o comprimento da barra.

Para o cálculo de Eficiência da Conversão Acústica (ECA), foi utilizada a equação 6 descrita abaixo, onde é possível relacionar a razão entre o coeficiente de radiação sonora gerado e o coeficiente de amortecimento (*tanδ*) (Laudares, 2022), entretanto como o software FFT Analyzer já fornece o DI, basta substituir na equação.

$$(6) \quad ECA = \pi(Ed \cdot \rho^{-3})^{1/2} \cdot DI^{-1}$$

## 2.5 Análise dos dados

As medições foram inseridas em um banco de dados no Microsoft Office Excel para análise dos dados e cálculo dos parâmetros. Em seguida, realizou-se uma análise estatística descritiva utilizando o software Statística 12.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Colorimetria

Na tabela 1, tem-se os parâmetros de cor natural da madeira antes da aplicação do UV e sua variação total da cor.

A análise quantitativa das espécies revelou maior variação de cor nas madeiras de *Astronium lecontei* (Muiracatia), *Pinus* e *Simarouba amara* (Marupá), quando expostas à luz ultravioleta (UV), nas espécies de Freijó, Mogno e Louro preto, não houve diferença visual significativa com base na imagem apresentada pela figura 1. Indicando que a luz ultravioleta promoveu mudanças colorimétricas na superfície das madeiras devido a fotodegradação causada pela UV, entretanto, algumas espécies foram mais resistentes ao efeito da radiação ultravioleta ocasionando baixa variação total de cor. A madeira de Muiracatiara demonstrou a maior variação total, atribuída principalmente a variação negativa de luminosidade em sua superfície, evidenciado pela figura 1.



**Tabela 1.** Resultados médios dos parâmetros colorimétricos antes e sua variação total de cor após o tratamento com radiação ultravioleta.

Madeira	L*	a*	b*	C*	h°	$\Delta E$
Marupá	84,0	2,9	21,8	22,0	4,1	<b>18,2</b>
Pinus	83,0	4,5	25,5	25,9	5,9	<b>17,9</b>
Freijó	65,0	6,8	22,2	23,2	2,0	8,7
Mogno	46,0	15,0	20,1	25,1	0,2	5,1
Louro Preto	39,0	5,7	12,5	13,7	0,7	5,2
Muiracatiara	55,0	18,0	27,0	32,4	0,1	<b>22,5</b>

Em que: L\* representa a luminosidade média, b\* representa os tons médios entre amarelo e azul, a\* representa os tons médios entre vermelho e verde, C representa a saturação média e h° o ângulo de cor médio.

**Figura 1.** A imagem apresenta as espécies de Freijó, Marupá, Louro preto, Pinus, Mogno Africano e Muiracatiara, antes (B) e após (A) aplicação de UV.



Fonte: O autor.

Pela figura 1, é possível observar de maneira qualitativa as variações ocorridas nas superfícies das madeiras, notando-se a baixa variação de cor em madeiras de

Freijó, Mogno e Louro preto, porém com notável diferença entre Muiracatiara, Pinus e Marupá.

### 3.2 Propriedades acústicas

A tabela 2 descreve os resultados médios das características acústicas obtidas das seis espécies de madeira pelo ensaio não destrutivo de propagação de ondas. É possível observar que as madeiras de *Cordia alliodora* (Freijó), *Pinus spp.*, e *Simarouba amara* (Marupá), são mais eficientes na transformação de energia mecânica em energia sonora devido ao seu alto ECA, comparado a trabalhos como o de Ahmed e Adamopoulos (2018).

**Tabela 2.** Resultados médios das propriedades acústicas das espécies de madeiras.

Espécies	Fr (Hz)	DI ( $\times 10^{-3}$ )	Ed (GPa)	Ed/Da (GPa.cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> )	ECA (m <sup>4</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	Da (g.cm <sup>-3</sup> )
<b>Marupá</b>	700	<b>22,0</b>	10,49	<b>22,46</b>	<b>2203</b>	0,467
<b>Pinus</b>	666	25,9	10,70	<b>21,64</b>	<b>1657</b>	0,494
<b>Freijó</b>	714	<b>17,6</b>	13,54	<b>23,78</b>	<b>2133</b>	0,569
Mogno	588	28,1	11,86	15,77	705	0,752
Louro Preto	502	31,8	9,24	11,39	475	0,811
Muiracatiara	571	25,1	14,39	17,06	686	0,844

Em que: Fr é a frequência natural de ressonância. DI é o decaimento logarítmico, Ed é o modulo dinâmico transversal, Ed/Da é módulo dinâmico transversal específico. ECA é a eficiência de conversão acústica e Da a densidade aparente.

## 4. CONCLUSÃO

As madeiras sofrem influência da radiação ultravioleta nas suas características colorimétricas, entretanto a capacidade de variação pode variar de acordo com a espécie. Aplicação de UV pode tornar a madeira mais atrativa, com maior saturação de cor.

Madeiras com maior ECA (Freijó, Marupá e Pinus) são mais adequadas a produção de tampo ressonante de instrumento musical. Essas madeiras possuem excelente capacidade de absorção, reflexão e transmissão de som, resultando em melhor qualidade sonora e ressonância.

## 5. REFERÊNCIAS

AHMED, Sheikh Ali; ADAMOPOULOS, Stergios. Acoustic properties of modified wood under different humid conditions and their relevance for musical instruments. **Applied Acoustics**, Linnaeus University, Georg Lückligns Plats 1, 351 95 Växjö, Sweden, ano 2018, v. 140, p. 92-99, 25 maio 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.05.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X17309416#preview-section-abstract>. Acesso em: 06/05/2024.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E-1876-22**: “International Standard Test Method for Dynamic Young’s Modulus, Shear Modulus, and Poisson’s Ratio by Impulse Excitation of Vibration”, Philadelphia, 2022.

DAI, Zetian; XUE, Juan; WANG, Shoushan. **Effects of wood texture and color on aesthetic pleasure: two experimental studies**. International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems (IJRES), p. 125–134, 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/368888271\\_Effects\\_of\\_wood\\_texture\\_and\\_color\\_on\\_aesthetic\\_pleasure\\_two\\_experimental\\_studies](https://www.researchgate.net/publication/368888271_Effects_of_wood_texture_and_color_on_aesthetic_pleasure_two_experimental_studies). Acesso em: 20/05/2024.

DE JESUS, Daiana Souza. **MELHORIA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, ACÚSTICAS, MECÂNICAS E BIOLÓGICAS DA MADEIRA PELA TÉCNICA DE ACETILAÇÃO**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rio de Janeiro, RJ, 2023.

JÚNIOR, Eraldo Antonio Bonfatti; LENGOWSK, Elaine Cristina. **Colorimetria aplicada à ciência e tecnologia da madeira**. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 38, p. 1–13, 2018. Disponível em: <http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/>. Acesso em: 30/05/2024

LAUDARES, Francisco Antonio Lopes. **Efeito do tratamento térmico nas características das madeiras de Marupá e Freijó para uso em instrumentos musicais**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rio de Janeiro, RJ, 2022.

PORTELA, Marcelo Santos. **ESTUDO DAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS DA MADEIRA AMAZÔNICA MARUPÁ PARA TAMPO DE VIOLÃO**. Orientador: Arcanjo Lenzi. 2014. 27-60 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30408513.pdf>. Acesso em: 04/06/2024.

SONDEREGGER, Walter *et al.* **Discoloration of heat-treated and untreated red alder wood in outdoor, transitional and indoor space**. Journal of Cultural Heritage, Zurich, Switzerland, ano 2015, v. 16, n. 6, p. 883-889, 3 fev. 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.02.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1296207415000266>. Acesso em: 04/06/2024.