



**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE SETE ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA
BRASILEIRA PARA FABRICAÇÃO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS**

LUCIANO ROITMAN

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**



**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE SETE ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA
BRASILEIRA PARA FABRICAÇÃO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS**

LUCIANO ROITMAN

**ORIENTADOR: ALEXANDRE FLORIAN DA COSTA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

BRASÍLIA, 30 JUNHO DE 2021.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**“AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE SETE ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA
BRASILEIRA PARA FABRICAÇÃO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS”**

LUCIANO ROITMAN

DISSERTAÇÃO DE Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, do Departamento de Engenharia Florestal, da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre.

APROVADA POR:

Prof. Dr. ALEXANDRE FLORIAN DA COSTA (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Orientador)

Prof. Dr. AILTON TEIXEIRA DO VALE (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Examinador Interno)

PhD. DIVINO ETERNO TEIXEIRA (Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB/MAPA);
(Examinador Externo)

PhD. JOAQUIM CARLOS GONÇALEZ (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Examinador Interno – Suplente)

Dr. ALESSANDRO C. DE OLIVEIRA MOREIRA (Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB/MAPA);
(Examinador Externo- Suplente)

Brasília, 30 de junho de 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

RR741a	Roitman, Luciano Avaliação das Propriedades de Sete Espécies de Madeiras da Amazônia Brasileira para Fabricação de Instrumentos Musicais / Luciano Roitman; orientador Alexandre Florian da Costa. -- Brasília, 2021. 112 p.
	Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, 2021.
	1. Concessão florestal. 2. Madeiras tropicais. 3. Coeficiente de amortecimento. 4. Frequência de ressonância fundamental. 5. Módulo de elasticidade dinâmico. I. Costa, Alexandre Florian da, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROITMAN, L. (2021). Avaliação das Propriedades de Sete Espécies de Madeiras da Amazônia Brasileira para Fabricação de Instrumentos Musicais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.DM- Jun/2021. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, DF. 112p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Luciano Roitman.

ORIENTADOR: Alexandre Florian da Costa

TÍTULO: Avaliação das Propriedades de Sete Espécies de Madeiras da Amazônia Brasileira para Fabricação de Instrumentos Musicais.

GRAU: Mestre

ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

AGRADECIMENTOS

À toda equipe LPF, servidores e colaboradores, em especial à Dhébora L. P. da Costa e ao Alessandro C. de Oliveira Moreira (Área de Química, Adesivos e Borracha Natural), Elisa Palhares de Sousa e Giovanna H. Q. Albuquerque (Área de Anatomia e Morfologia); Eduardo S. Reis, Cecília Manavella e João E. Anacleto (*in memoriam*) (Área de Engenharia e Física da Madeira), Helder R. Carvalho (Secagem) e à turma da carpintaria.

Ao doutorando e colega de equipe do LPF Peter Wimmer, por todo apoio nos ensaios realizados, desdobros da madeira, trabalho braçal, sugestões e incentivos.

Ao Dr. Mario Rabelo de Souza, por compartilhar seus conhecimentos de sua longa trajetória nas pesquisas de madeiras brasileiras para instrumentos musicais.

Ao Dr. Divino Eterno Teixeira, pela disposição, colaboração nas análises estatísticas, e contribuição no delineamento e execução dos ensaios.

Ao Dr. Ricardo Faustino Teles, pela contribuição nas análises estatísticas e pelas conversas sobre acústica das madeiras.

Ao meu orientador Dr. Alexandre Florian da Costa, por ter aceitado o desafio dessa jornada.

Aos professores e colaboradores do Departamento de Engenharia Florestal.

A todos os colegas de pós-graduação.

À toda família Roitman, em especial a minha irmã Iris, pelas contribuições e sugestões, e a minha mãe Celina, por sempre me dar todo apoio necessário para vencer meus desafios.

À minha companheira Lília de Oliveira pelo seu incentivo, carinho, apoio e compreensão durante a pandemia e na realização deste projeto.

Ao fiel escudeiro Juba, que esteve ao meu lado durante todas as horas dedicadas ao projeto.

A todos que de alguma forma contribuíram para a elaboração, execução e conclusão deste trabalho, muito obrigado!

Dedico este trabalho ao amigo e colega de trabalho João Evangelista Anacleto (*in memoriam*), que partiu precocemente, vítima da COVID-19, por toda sua dedicação à Área de Engenharia e Física da Madeira do LPF, e por todos os ensinamentos repassados.

RESUMO

A madeira é um material único e muito apreciado na fabricação de instrumentos musicais. As propriedades acústicas da madeira são intrínsecas a cada espécie e dependem das propriedades físicas, mecânicas e químicas, bem como da sua anatomia. O aumento da demanda tem resultado na busca pela identificação de novas espécies aptas para uso na fabricação de instrumentos musicais, em substituição as espécies já superexploradas. Neste estudo foram avaliadas as propriedades da madeira (densidade, retração, módulo de elasticidade, conteúdo de extrativo, velocidade de propagação sonora e coeficiente de amortecimento) de sete espécies nativas da Amazônia brasileira e seu potencial de uso na fabricação de instrumentos musicais. As espécies estudadas foram *Allantoma decandra*, *Dipteryx magnifica*, *Dipteryx odorata*, *Erisma uncinatum*, *Handroanthus incanus*, *Martiodendron elatum* e *Peltogyne lecointei*, oriundas de plano de manejo florestal de um projeto de concessão florestal do Serviço Florestal Brasileiro. A avaliação das propriedades acústicas foi realizada pela técnica de excitação por impulso, analisando a frequência de ressonância fundamental, nos modos de vibração longitudinal e flexional, e pelo equipamento Stress Wave Timer. A densidade básica variou de 0,55 g/cm³ a 0,91 g/cm³ e o conteúdo de extrativo de 2,68% a 11,58%, entre as espécies. Todas as espécies apresentaram estabilidade dimensional normal a excelente, com exceção de *Erisma uncinatum* que apresentou coeficiente anisotrópico superior a dois. As avaliações não destrutivas apresentaram um bom coeficiente de determinação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o estático. Não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as propriedades acústicas comparando as direções radial e tangencial. Todas as espécies apresentaram baixos valores para o coeficiente de amortecimento ($<0,009$). *Allantoma decandra* apresentou a maior velocidade de propagação sonora. *Martiodendrom elatum* apresentou propriedades próximas ao *Dipteryx odorata* e *Handroanthus incanus*, demonstrando potencial de utilização para instrumentos musicais. O conhecimento das propriedades acústicas de madeiras nativas brasileiras, autorizadas para exploração sustentável, permite a escolha daquelas mais aptas para uso na fabricação de instrumentos musicais, e com isso a possibilidade de inclusão de novas espécies para suprir o mercado e agregar valor econômico.

Palavras-chave: concessão florestal; madeiras tropicais; coeficiente de amortecimento; excitação por impulso; frequência de ressonância fundamental; módulo de elasticidade dinâmico.

ABSTRACT

Woods is a unique and prestigious material worldwide for the manufacture of musical instruments. The acoustic properties of wood are intrinsic to each species and depends on their physical, mechanical and chemical properties as well as their anatomy. Increasing demand has resulted in the search for identifying new suitable species to use for manufacturing musical instruments, in substitution of species that are already over exploited. In this study, we evaluated the properties (density, shrinkage, elastic modulus, extractive content, speed of sound and loss coefficient) of seven Brazilian Amazonian Hardwoods and their potential for manufacturing musical instruments. The species studied were *Allantoma decandra*, *Dipteryx magnifica*, *Dipteryx odorata*, *Erismia uncinatum*, *Handroanthus incanus*, *Martiodendron elatum* e *Peltogyne lecointei*, originated from a forest management plan from a forest concession project of the Brazilian Forest Service,. The assessment of wood acoustic properties was made by the impulse excitation technique, analysing the fundamental resonance frequency in longitudinal and flexural vibration, and by the Stress Wave Timer. The basic density varied from 0.55 g/cm³ to 0.91 g/cm³ and the extractive content from 2.68% to 11.58% among species. The dimensional stability of all species was considered normal to excellent, with exception for *Erismia uncinatum* that showed an anisotropic coefficient above two. The non-destructive assessments showed a good determination coefficient between dynamic and static elastic modulus. There was no significant difference ($p < 0.05$) between the acoustic properties comparing the radial and tangential directions. All species showed a low value for loss coefficient (< 0.009). *Allantoma decandra* showed the highest speed of sound. *Martiodendrom elatum* presented properties close to *Dipteryx odorata* and *Handroanthus incanus*, in almost all properties analyzed, demonstrating potential for use in musical instruments. The knowledge of the acoustic properties of native Brazilian woods, authorized for sustainable exploration, allows the choice of those most suitable for use in the manufacture of musical instruments, and with that the possibility of including new species to supply the market and add economic value.

Keywords: forest concession; tropical wood; dynamic elastic modulus; fundamental resonance frequency; impulse excitation technique; loss coefficient.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO GERAL.....	3
2.1 Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1 Uso de Madeiras em Instrumentos Musicais.....	3
3.2 Espécies de Madeiras Ameaçadas de Extinção Tradicionalmente Utilizadas na Fabricação de Instrumentos Musicais.....	4
3.3 Concessão Florestal como Alternativa para o Uso de Madeiras Nativas	5
3.4 Propriedades das Madeiras para Fabricação de Instrumentos Musicais.....	7
3.4.1 Propriedades Físicas	8
3.4.2 Teor de Extrativos.....	11
3.4.3 Propriedades Mecânicas.....	12
3.4.4 Propriedades Acústicas	14
3.5 Espécies Utilizadas no Estudo.....	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 Coleta das Espécies	29
4.2 Propriedades Físicas	31
4.3 Teor de Extrativos.....	35
4.4 Propriedades Acústicas	37
4.5 Propriedades Mecânicas.....	40
4.6 Teor de Umidade da Madeira	42
4.7 Análise Estatística	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1 Propriedades Físicas	44
5.2 Teor de Extrativos.....	50
5.3 Propriedades Mecânicas.....	51
5.4 Propriedades Acústicas	57
5.5 Teor de Umidade e Densidade Aparente	66
6. CONCLUSÕES.....	68
7. RECOMENDAÇÕES.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
APÊNDICES	80

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Relação entre a densidade e o módulo de elasticidade longitudinal para diferentes tipos de instrumentos musicais (Wegst, 2006)..... 18
- Figura 2.** Fotomicrografias da espécie *Allantoma decandra* (jequitibá) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF). 19
- Figura 3.** Fotomicrografias da espécie *Dipteryx odorata* (cumaru-ferro) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x).). Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF). 21
- Figura 4.** Fotomicrografias da espécie *Dipteryx magnifica* (cumaru-rosa) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF). 22
- Figura 5.** Fotomicrografias da espécie *Erismia uncinatum* (cedrinho) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF). 24
- Figura 6.** Fotomicrografias da espécie *Handroanthus incanus* (ipê) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF). 25
- Figura 7.** Fotomicrografias da espécie *Martiodendron elatum* (tamarindo) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). (Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF). 27
- Figura 8.** Fotomicrografias da espécie *Peltogyne lecointei* (roxinho) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). (Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF). 28
- Figura 9.** Localização da Floresta Nacional de Jacundá, de onde foram coletadas as espécies de madeiras para o estudo, no estado de Rondônia, Brasil. (Fonte: Google maps, 2019)..... 29
- Figura 10.** Toras das árvores coletadas para pesquisa no pátio da serraria da empresa Madeflona Industrial Madeireira Ltda., localizada na Floresta Nacional de Jacundá, Rondônia, Brasil, em 2017, (fotos: Peter Wimmer). 29
- Figura 11.** Madeiras serradas enfardadas prontas para o transporte no pátio da serraria da empresa Madeflona Industrial Madeireira Ltda., localizada na Floresta Nacional de Jacundá, Rondônia, Brasil, (fotos: Peter Wimmer). 30
- Figura 12.** Discos das árvores coletadas das diferentes espécies separados para o transporte no pátio da serraria da empresa Madeflona Industrial Madeireira Ltda., localizada na Floresta Nacional de Jacundá, Rondônia, Brasil, (fotos: Peter Wimmer). 30
- Figura 13.** Obtenção do volume por deslocamento de água utilizado para calcular a densidade dos corpos de prova nos testes físicos. 32
- Figura 14.** Pontos marcados nos corpos de prova, nas três faces da madeira, utilizados como referência nas medições da estabilidade dimensional em diferentes teores de umidade da madeira. 34
- Figura 15.** Medições efetuadas para o cálculo da reprodutibilidade da madeira com uso de relógio comparador com resolução de 0,01mm, de acordo com a Norma NBR 7190. 35
- Figura 16.** Cunhas de discos de madeiras de duas espécies, cedrinho e tamarindo, utilizadas no estudo, com porção representativa de cerne e alborno, para caracterizar o teor de extrativos em etanol:tolueno (Fotos: Dhébora Juliana Lino Pires). 35
- Figura 17.** Processo de extração em Etanol-Tolueno (1:2), conforme a norma TAPPI T 204, em extrator Soxhlet para estimar o teor de extrativos das sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. 36

Figura 18. Equipamento Sonelastic utilizado para obtenção das propriedades acústica das madeiras através da técnica de excitação por impulso (IET).....	37
Figura 19. Corpos de prova utilizados para realização dos testes acústicos em equipamentos não destrutivos e no ensaio de flexão estática das sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.	37
Figura 20. Foto do suporte SA-BC do equipamento Sonelastic com amostras apoiadas nos pontos nodais para realização dos modos vibracionais: a) longitudinal, b) flexional.	38
Figura 21. Equipamento Stress Wave Timer utilizado para obtenção da velocidade de propagação sonora e módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.	39
Figura 22. a) Máquina de Ensaio USM 600 utilizada para realização dos ensaios de flexão estática reduzida (ASTM D - 143); b) Detalhe do posicionamento do corpo de prova e da aplicação da carga entre dois apoios.	40
Figura 23. Fluxograma de Materias e Métodos com os diferentes testes realizados neste estudo para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.....	43
Figura 24. Densidades: verde; aparente; seca; e básica, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie.	46
Figura 25. Teor de umidade médio dos corpos de prova em sala com controle de temperatura de 22°C (\pm 3°C) e umidade relativa de 65% (\pm 3%) para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....	46
Figura 26. Retração longitudinal para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes representam diferença significativa entre espécies pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).	47
Figura 27. Retrações tangencial e radial, e a variação volumétrica para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie.	48
Figura 28. Valores médios do coeficiente anisotrópico das sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie.	49
Figura 29. Teor de extrativos em etanol-tolueno realizado conforme a TAPPI T 204 para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).	50
Figura 30. Módulo de elasticidade (MOE) obtido no ensaio de flexão estática reduzida, conforme a norma ASTM D-143, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).....	52
Figura 31. Módulo de ruptura (MOR) obtido no ensaio de flexão estática reduzida, conforma a norma ASTM D-143, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).....	52
Figura 32. Valores do módulo de elasticidade na flexão estática (MOE) e do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtidos pelo Stress Wave Timer e pela técnica de excitação por impulso: modo de vibração flexional e longitudinal, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.	54
Figura 33. Coeficiente de determinação (R^2) entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtido pela técnica de excitação por impulso no modo de vibração longitudinal com o módulo de elasticidade (MOE) obtido pelo ensaio de flexão estática reduzida.....	55

Figura 34. Coeficiente de determinação (R^2) entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtido pela técnica de excitação por impulso no modo de vibração flexional com o módulo de elasticidade (MOE) obtido pelo ensaio de flexão estática reduzida.....	55
Figura 35. Coeficiente de determinação (R^2) entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtido pelo equipamento Stress Wave Timer com o módulo de elasticidade (MOE) obtido pelo ensaio de flexão estática reduzida.	56
Figura 36. Frequências de ressonância geradas pelo programa Sonelastic após excitação no modo de vibração longitudinal. O pico maior do gráfico é considerado a frequência de ressonância fundamental.	57
Figura 37. Gráfico gerado pelo programa Sonelastic, demonstrando o decaimento logarítmico da amplitude pelo tempo a partir da seleção da frequência de ressonância fundamental utilizado para calcular o coeficiente de amortecimento.	57
Figura 38. Frequência de ressonância fundamental obtida pela técnica de excitação por impulso no modo de vibração flexional para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).	58
Figura 39. Frequência de ressonância fundamental obtida pela técnica de excitação por impulso no modo de vibração longitudinal para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).	59
Figura 40. Coeficiente de determinação entre as frequências fundamentais de ressonância obtidas pela técnica de excitação por impulso analisando os dois modos vibracionais: longitudinal e flexional, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.....	60
Figura 41. Velocidade de propagação sonora (m/s) obtida pelos modos vibracionais: longitudinal e flexional, pela técnica de excitação por impulso, e pelo equipamento Stress Wave Timer, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.	61
Figura 42. Coeficiente de determinação (R^2) da velocidade de propagação sonora nos dois modos de vibração: longitudinal e flexional analisados pela técnica de excitação por impulso para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.....	62
Figura 43. Coeficiente de determinação (R^2) da velocidade de propagação sonora calculado pelo Stress Wave Timer e o modo de vibração flexional, pela técnica de excitação por impulso, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.....	62
Figura 44. Coeficiente de determinação (R^2) da velocidade de propagação sonora calculado pelo Stress Wave Timer e o modo de vibração longitudinal, pela técnica de excitação por impulso, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.....	63
Figura 45. Valores médios para o coeficiente de amortecimento ($\tan \delta$) obtido no modo de vibração flexional para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....	64
Figura 46. Coeficiente de amortecimento ($\tan \delta$) obtido no modo de vibração longitudinal para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....	65
Figura 47. Densidade aparente das sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira obtidas em diferentes momentos. equipamentos não destrutivos e destrutivos, utilizadas para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico e estático e suas propriedades acústicas. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....	67
Figura 48. Teor de umidade dos corpos de prova utilizados no ensaio de flexão estática reduzida para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....	67

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Espécies de madeiras da Amazônia brasileira utilizadas no presente estudo, coletadas na Floresta Nacional de Jacundá, Rondônia, Brasil, em 2017.	31
Tabela 2. Equações utilizadas para o cálculo de cada densidade (aparente, seca, verde e básica) e suas respectivas etapas de onde se retiraram os dados.	32
Tabela 3. Valores da densidade básica, seca, aparente e verde para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira, obtidas pela norma ASTM 2395.	44
Tabela 4. Valores médios para retração tangencial, radial e variação volumétrica para as sete espécies de madeira da Amazônia brasileira, obtidas pela norma NBR 7190.	48
Tabela 5. Velocidade de propagação sonora e respectivos coeficientes de variação nos modos de vibração longitudinal e flexional, obtidos pela técnica de excitação por impulso, e pelo equipamento Stress Wave Timer, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.	60

LISTA DE EQUAÇÕES

Eq. 01. Velocidade de propagação sonora (c).....	15
Eq. 02. Impedância acústica (z)	15
Eq. 03. Coeficiente de Radiação sonora (R)	15
Eq. 04. Decaimento logarítmico (DL).....	16
Eq. 05. Fator de qualidade (Q).....	17
Eq. 06. Eficiência de Conversão Acústica (ACE).....	17
Eq. 07. Retração radial (ϵ_r)	33
Eq. 08. Retração tangencial (ϵ_t)	33
Eq. 09. Retração longitudinal (ϵ_l)	33
Eq. 10. Variação Volumétrica (ΔV).....	33
Eq. 11. Coeficiente anisotrópico (CA).....	34
Eq. 12. Teor de extrativos em etanol:tolueno (TE).....	36
Eq. 13. Velocidade de propagação sonora Stress Wave Timer (c)	39
Eq. 14. Módulo de elasticidade estático (MOE).....	41
Eq. 15. Módulo de ruptura (MOR)	41
Eq. 16. Módulo de elasticidade dinâmico Stress Wave Timer (MOEd).....	41
Eq. 17. Teor de umidade (TU)	42

LISTA DE NOMECLATURAS, SIGLAS E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACE	Eficiência de Conversão Acústica
ASTM	American Society for Testing and Materials
c	Velocidade de Propagação Sonora
c/p	Parâmetro Vibracional
CITES	Convenção sobre Comércio Internacional das Espécies da Flora e da Fauna Selvagens em Perigo de Extinção
DAP	Diâmetro a Altura do Peito
DOF	Documento de Origem Florestal
E/ρ	Módulo Específico de Elasticidade
Flona	Floresta Nacional
Fr	Frequência de Ressonância Fundamental
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IET	Técnica de Excitação por Impulso
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo
LPF	Laboratório de Produtos Florestais
Q	Fator de Qualidade
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MOE	Módulo de Elasticidade
MOEd	Módulo de Elasticidade dinâmico
MOR	Módulo de Ruptura
NBR	Norma Brasileira Técnica
PMFS	Plano de Manejo Florestal Sustentável
PSF	Ponto de Saturação das Fibras
R	Coefficiente de Radiação Sonora
R²	Coefficiente de Determinação
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
SiBBr	Sistema da Biodiversidade Brasileira
SISBio	Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade
tan δ	Coefficiente de Amortecimento
TAPPI	Associação Técnica das Indústrias de Papel e Celulose
z	Impedância

1. INTRODUÇÃO

O estudo das propriedades da madeira é muito importante para subsidiar a escolha para os usos finais pretendidos. Sua diversidade em texturas, cores, resistências e durabilidade permite a utilização desse material em uma infinidade de produtos (USDA, 2010).

O uso tradicional de espécies de madeira já é consagrado na arte da fabricação dos instrumentos musicais, tendo um papel fundamental no design e no processo construtivo (Brémaud, 2012). Apesar dos adventos de materiais sintéticos e tecnológicos, a madeira continua sendo muito apreciada para fabricação de instrumentos musicais (Yoshikawa & Whaltam, 2014).

Diferentes grupos de instrumentos musicais podem ser confeccionados a partir da madeira, como os que utilizam tampos e cordas (cordofones), instrumentos de sopro (aerofones), percussivos (membráfonos e idiofonos), tábua harmônica para piano, arcos para violino, entre outros (Wegst, 2006).

A escolha da madeira ideal para fabricação de instrumentos musicais depende da qualidade da sua percussão sonora, a qual se deve às propriedades de ressonância do instrumento que, por sua vez, são relacionadas às propriedades intrínsecas do material, como o módulo de elasticidade, o coeficiente de amortecimento, o coeficiente de radiação sonora, a densidade básica e o conteúdo de extrativos (Traoré et al., 2010).

As propriedades físicas e mecânicas das madeiras variam conforme a espécie e são influenciadas por fatores ambientais, tais como, tipo de solo, clima, disponibilidade de nutrientes, exposição solar, tipo de manejo aplicado, povoamento, idade da árvore e a posição da amostra em relação à altura da árvore ou ao seu diâmetro, conferindo também uma variabilidade entre indivíduos da mesma espécie e dentro de um mesmo indivíduo (Tomasi et al., 2013).

A quantidade e qualidade dos extrativos presentes na madeira também são variáveis para cada espécie e entre indivíduos da mesma espécie. Sua maior concentração é localizada na região do cerne, influenciando na massa específica da madeira, na estabilidade dimensional e na resistência natural ao ataque de organismos xilófagos (Taylor et al., 2002). O conteúdo de extrativos interfere também nas propriedades acústicas, sendo relacionado ao decaimento vibracional da madeira (Matsunaga et al., 1999).

A madeira é um material anisotrópico, e a distribuição e organização das estruturas anatômicas não são iguais nos diferentes planos fundamentais de observação da madeira. Por isso, a diferença na estrutura anatômica em função da orientação do corte (tangencial ou radial) influencia as propriedades da madeira de uma mesma espécie (Serpa et al., 2003).

A avaliação das propriedades acústicas da madeira tem sido facilitada pela utilização de métodos não destrutivos, podendo substituir com vantagem os métodos tradicionais, apresentando

resultados precisos com rapidez e eficiência, sem danificar as amostras testadas (Hasníková & Kuklík, 2014). Dentre os mais usados, destacam-se o método de vibração, que tem como principal parâmetro a frequência de ressonância, e o método com ultrassom que tem como principal parâmetro a velocidade de propagação sonora (Bucur, 2016).

Equipamentos e softwares de tecnologia nacional, utilizados para calcular os módulos de elasticidade e amortecimento para diferentes materiais, em atendimento às normas internacionais, têm apresentado resultados comprovados para madeira (Otani et al., 2015).

Algumas espécies brasileiras são conhecidas mundialmente pelas excelentes qualidades acústicas da madeira (Brémaud et al., 2010). Sua exploração predatória tem elevado o risco de extinção de algumas das principais espécies usadas na fabricação de instrumentos musicais, sendo muito difícil a sua obtenção no mercado formal (Martinelli & Moraes, 2013).

A Amazônia tem a maior biodiversidade de floresta tropical do planeta, com mais de onze mil espécies de árvores já catalogadas (Ter Steege et al., 2016). Apesar da grande diversidade de espécies nativas no país, o comércio madeireiro limita-se à exploração de poucas espécies, havendo uma seletividade na busca por espécies que possuem valor de mercado e usos conhecidos (IBAMA, 2019).

SLOOTEN & SOUZA (1993) identificaram 21 espécies de madeiras da Amazônia com potencial de uso para a fabricação de instrumentos musicais em substituição às importadas. Resultados semelhantes foram encontrados por outros estudos que se seguiram a este, demonstrando que as espécies amazônicas oferecem a possibilidade de ser uma alternativa viável para sua utilização em instrumentos musicais de qualidade (Fagundes, 2003; Teles, 2004; Cavalcante, 2006; Reis, 2007; Longui, 2009; Senra, 2013; Portela, 2014; Flores, 2015; Costa, 2017).

Comparado à grande diversidade de espécies arbóreas brasileiras, o número de espécies nativas estudadas quanto às suas propriedades acústicas ainda é muito limitado (Teles et al., 2018). A procura por novas madeiras para substituir às espécies já tradicionalmente utilizadas para fabricação de instrumentos musicais tornou-se então uma necessidade, para que os fabricantes de instrumentos musicais possam dar continuidade à produção de instrumentos musicais de qualidade, sem comprometer a sobrevivência das espécies (Ahvenainen, 2019).

Dessa forma, o estudo das propriedades acústicas, bem como das físicas, mecânicas, químicas e anatômicas das madeiras reveste-se de importância, pois ao tempo que busca atender à necessidade de se encontrar uma alternativa economicamente viável para a substituição das espécies de madeiras tradicionalmente usadas como instrumentos musicais, contribuindo para a conservação da nossa biodiversidade, visa também ampliar o leque de possibilidades de comércio madeireiro, suprindo o mercado com espécies que vêm sendo exploradas atualmente para outros fins, como é o caso das madeiras oriundas dos projetos de concessão florestal.

2. OBJETIVO GERAL

Determinar as propriedades acústicas de sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira, oriundas de concessão florestal, visando identificar seu potencial para fabricação de instrumentos musicais.

2.1 Objetivos Específicos

Determinar as propriedades físicas, mecânicas e o teor de extrativos de sete espécies nativas da Amazônia Brasileira.

Obter o coeficiente de determinação entre o módulo de elasticidade estático e dinâmico.

Avaliar a diferença nas propriedades acústicas das madeiras em relação a orientação de corte da madeira (radial e tangencial)

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Uso de Madeiras em Instrumentos Musicais

Um instrumento musical, do ponto de vista físico, pode ser considerado como um sistema dinâmico constituído por três componentes: sistema excitador, sistema ressoador e sistema radiante, comportando-se como um conjunto de osciladores com grande complexidade que interagem entre si, fazendo com que o som chegue até nossos ouvidos (Henrique, 2009).

O sistema excitador é o que gera a energia vibratória. No caso dos instrumentos musicais podemos citar como exemplos o fluxo de ar em instrumentos de sopros, a ação das baquetas nos idiofones ou membrafones ou o dedilhar ou a fricção dos arcos nas cordas, para os cordofones (Bucur, 2016).

No sistema ressoador as oscilações são amplificadas, filtradas ou modificadas, gerando em geral energia em muitas frequências. Geralmente é um conjunto entre as cordas e a caixa de ressonância dos instrumentos musicais. Já o sistema radiante é a capacidade do instrumento em transmitir as vibrações originando as ondas sonoras que se propagam no meio até atingir nossos ouvidos (Fletcher & Rossing, 2010).

Cada tipo de instrumento musical terá um sistema próprio. A forma de produzir o som dependerá da sua forma de excitação, do tipo de material que é produzido o instrumento, assim como da capacidade desse instrumento em radiar o som produzido. A qualidade dos materiais empregados na confecção dos instrumentos musicais é fundamental para atingir o som desejado para cada tipo de instrumento (Henrique, 2009).

A arte na fabricação de instrumentos musicais retrata diferentes épocas e tradições culturais nas diferentes regiões do mundo. A criatividade e a procura de sonoridades mais aguçadas permitiram

a descoberta e desenvolvimento de instrumentos musicais que se perpetuaram durante gerações e ainda são muito atuais nos dias de hoje (Pérez & Marconi, 2018).

Dentre os numerosos usos tradicionais da madeira, um deles já é consagrado, na arte da fabricação de instrumentos musicais, tendo um papel fundamental no design e no processo construtivo (Brémaud, 2012). Mesmo com a introdução de novos materiais sintéticos e tecnológicos, a madeira continua sendo muito apreciada para fabricação de instrumentos musicais (Yoshikawa & Whaltam, 2014). A escolha adequada de determinada espécie depende muito do uso pretendido, da sua disponibilidade e oferta, e das respostas sonoras desejadas para cada tipo ou componente do instrumento musical (Wegst, 2006).

A diversidade de instrumentos musicais produzidos a partir da madeira permitiu que várias espécies se destacassem tornando-se uma referência para determinados usos (Wegst, 2008). Na fabricação de violinos duas espécies de madeira de clima temperado são tradicionalmente utilizadas, a espécie *Picea abies*, conhecida como spruce para o tampo do instrumento e *Acer pseudoplatanus*, conhecida como maple, nas laterais e fundos do instrumento (Bucur, 2016). Seus usos se perpetuaram entre gerações, e, devido ao uso frequente, foram amplamente estudadas para aprimorar o conhecimento científico em torno de suas propriedades acústicas (Carlier et al., 2018).

Os arcos produzidos a partir do pau-brasil, *Paubrasilia echinata* (syn. *Caesalpinia echinata*), uma espécie nativa do Brasil, são considerados uma verdadeira preciosidade dentre os musicistas, criando uma verdadeira harmonia entre o instrumentista e o instrumento, com execução de obras musicais que soam como perfeições aos ouvidos (Angyalossy et al., 2005).

Várias outras espécies, também nativas do Brasil, há longa data já são destaques no uso tradicional para fabricação de instrumentos musicais. Violões fabricados entre os séculos XVIII e XIX, pertencentes ao acervo do *Museu de la Música*, em Barcelona, Espanha, utilizaram o jacarandá-dabáhia, *Dalbergia nigra*, o cedro, *Cedrela odorata*, e o mogno, *Swietenia* sp., em diferentes componentes das partes de seus violões (Haag et al., 2018).

3.2 Espécies de Madeiras Ameaçadas de Extinção Tradicionalmente Utilizadas na Fabricação de Instrumentos Musicais

O uso intensivo das espécies usadas para fabricação de instrumentos musicais acabou gerando um problema para conservação de algumas delas na natureza. O extrativismo feito de forma desordenada contribuiu para o desaparecimento ou escassez de certas espécies, sendo muito difícil encontrá-las no mercado formal (Ahvenainen, 2019).

A Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e da Flora Silvestres Ameaçadas de Extinção (CITES), que tem o Brasil como signatário desde 1975, lista, em seus três

anexos, as espécies com restrições no comércio internacional entre países. O comércio dessas espécies está condicionado ao grau de perigo de ameaça de sua extinção. A CITES atribui responsabilidade tanto aos países produtores como aos países consumidores.

Espécies ameaçadas de extinção, listadas no Anexo I da CITES, necessitam de licença prévia para exportação, com parecer científico atestando que a exportação não prejudicará a sobrevivência da espécie, e autorizações comprovando a legalidade da aquisição. Seu comércio somente será permitido em circunstâncias excepcionais.

Espécies não necessariamente ameaçadas de extinção, mas cujo comércio deve ser controlado a fim de evitar usos incompatíveis com sua sobrevivência, Anexo II da CITES, e espécies que são protegidas em pelo menos um país e que tenha solicitado assistência às demais partes da Convenção para controlar seu comércio, Anexo III CITES, possuem regras definidas adotando critérios específicos para cada caso. Considerando os diferentes níveis de proteção dos três anexos, a soma de espécies da flora protegidas pela CITES chega a 32.800 espécies (CITES, 2020).

Muitas espécies de madeiras, dentre estas todas do gênero *Dalbergia*, muito apreciadas pelos fabricantes de instrumentos musicais, constam nas listas dos anexos da CITES, ou como ameaçadas de extinção ou com alguma restrição para seu comércio, sempre visando a garantia para a sobrevivência dessas espécies (Brémaud, 2012; Zauer & Pfriem, 2018).

No Brasil, a Portaria MMA nº 443, de 17 de dezembro de 2014, definiu a lista das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. O grau de risco foi separado em diferentes categorias: extintas na natureza; criticamente em perigo; em perigo; e vulnerável. Para espécies de madeiras pertencentes a essas categorias, há proibição restritiva tanto na sua exploração quanto comercialização, excetuando-se, os exemplares cultivados em plantios devidamente licenciados de espécies consideradas vulneráveis, exploradas através do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), e autorizadas pelos órgãos ambientais competentes (MMA, 2014).

A procura por novas madeiras para substituir as espécies já tradicionalmente utilizadas para fabricação de instrumentos musicais passou a ser uma necessidade, para que os fabricantes possam dar continuidade à produção de instrumentos musicais de qualidade, sem comprometer a sobrevivência das espécies (Ahvenainen, 2019).

3.3 Concessão Florestal como Alternativa para o Uso de Madeiras Nativas

A Amazônia tem a maior biodiversidade de floresta tropical do planeta, com mais de onze mil espécies de árvores já catalogadas (Ter Steege et al., 2016). Comparado à grande diversidade de

espécies arbóreas brasileiras, o número de espécies nativas estudadas quanto às propriedades acústicas da madeira ainda é muito limitado (Teles et al., 2018).

As concessões florestais públicas foram pensadas para promover o manejo florestal sustentável. A lei de Gestão de Florestas Públicas, publicada em de 2 de março de 2006, tem por objetivo a conservação das florestas públicas brasileiras, por meio da exploração e do manejo sustentável, mediante contratos de concessões florestais entre concessionários e o poder público com prazo de até 40 anos. A Lei permite ao Poder Público conceder a pessoas jurídicas, incluindo empresas, cooperativas e associações de comunidades locais, permissão para realizar o manejo florestal sustentável para extrair produtos madeireiros e não madeireiros e oferecer serviços de turismo.

Além de permitir aos governos federal, estaduais e municipais fazer uma boa gestão do patrimônio público e combater atividades ilegais como a grilagem de terras, o garimpo ilegal, o desmatamento e os incêndios florestais, a medida visa sobretudo estimular o desenvolvimento econômico regional e melhorar a qualidade de vida das populações que vivem no entorno dessas áreas (Brasil, 2006).

O Serviço Florestal Brasileiro (SFB), hoje vinculado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), exerce a função de órgão gestor no âmbito federal dos contratos de concessão florestal. Dentre suas várias funções o SFB tem a atribuição de estimular e fomentar a prática de atividades florestais sustentáveis madeireira, não madeireira e de serviços; promover estudos de mercado para produtos e serviços gerados pelas florestas; e propor planos de produção florestal sustentável de forma compatível com as demandas da sociedade.

No Brasil há atualmente contratos para concessão florestal em seis Florestas Nacionais (Flonas), localizadas no Pará e em Rondônia, totalizando mais de um milhão de hectares sob regime de concessão florestal federal. A primeira concessão florestal do país ocorreu na Flona de Jamari, Rondônia, em 2008. Atualmente há novos processos licitatórios em andamento, com perspectivas do aumento da área explorada sob o regime de concessão florestal, e abrangendo outros estados, como o Amapá, Amazonas e Santa Catarina (SFB, 2020).

A produção madeireira de espécies nativas do Brasil, no período entre 2012 a 2017, chegou a um volume médio próximo aos 10.000 m³/ano, sendo que apenas 25 espécies com maior movimentação durante esse período representaram 57,36% da produção acumulada do conjunto de todas as espécies (IBAMA, 2019). Isso demonstra que apesar da grande diversidade de espécies nativas no país, o comércio madeireiro se concentra na exploração de poucas espécies. Há uma seletividade na busca por espécies que possuem valor no mercado e usos conhecidos.

A identificação botânica das espécies é muito importante para o conhecimento científico tanto para fins de conservação como para fins comerciais. A identificação correta precisa estar atrelada a

todas as etapas do processo de exploração madeireira, visando à garantia de sua sustentabilidade. Já a identificação incorreta impossibilita o conhecimento das populações e da diversidade das espécies, prejudica o planejamento do manejo florestal sustentável, e compromete a relação de confiabilidade entre produtor e consumidor final (Procópio & Secco, 2008).

Várias espécies de madeiras são conhecidas pelos seus nomes populares. Um mesmo nome comum ou popular pode ser atribuído a diferentes espécies, pertencentes muitas vezes ao mesmo gênero ou família, mas com características bem distintas entre as espécies (Cysneiros et al., 2018). Essa generalização da nomenclatura pode influenciar na qualidade e nos usos pretendidos da madeira, principalmente para usos bem específicos. Espécies de mesmo gênero, apesar da semelhança genética, não garantem uma resposta idêntica ao uso pretendido (Silva et al., 2011; Brémaud, 2012).

3.4 Propriedades das Madeiras para Fabricação de Instrumentos Musicais

A madeira é um material biológico complexo, com elevada variabilidade em relação às suas características e propriedades (Braz et al., 2013). Suas propriedades físicas e mecânicas apresentam comportamentos diferentes, principalmente entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e dentro de uma mesma árvore (Melo, 2002).

O estudo das propriedades da madeira é muito importante para subsidiar a escolha para os usos finais pretendidos, sua diversidade em texturas, cores, resistências e durabilidade permite a utilização em uma infinidade de produtos produzidos a partir da madeira (USDA, 2010; Melo & Camargos, 2016).

ARAÚJO (2002) ao estudar uma área de floresta tropical no estado do Acre, constatou que de 187 espécies utilizadas para agrupamento de suas propriedades tecnológicas, menos de 40% puderam ser comparadas no nível de espécie com dados da literatura, sendo que a maioria teve que ser comparada no nível de gênero, demonstrando que há uma grande lacuna no estudo das propriedades tecnológicas das espécies madeireiras amazônicas.

O Laboratório de Produtos Florestais (LPF) criado em 1973, atualmente fazendo parte da estrutura do SFB, tem contribuído para gerar informações das madeiras nativas do Brasil, principalmente do bioma amazônico. Possui um banco de dados com mais de 270 espécies já caracterizadas com suas propriedades físicas e mecânicas, trabalhabilidade, preservação e programas de secagem, e recentemente com a identificação de espécies listadas pela CITES (LPF, 2020).

No intuito de subsidiar e promover o uso das madeiras nativas do Brasil, Slooten & Souza (1993) estudaram 21 espécies, principalmente do bioma amazônico, classificando-as quanto ao potencial de uso para fabricação de diferentes tipos de instrumentos musicais. O Instituto de Pesquisas

Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), paralelamente, avaliou diversas espécies do bioma da mata atlântica, avaliando-as quanto ao seu potencial para fabricação de instrumentos musicais em substituição às espécies tradicionais (IPT, 1985).

Há atualmente no Brasil diversos profissionais, empresas, escolas de música, e cursos técnicos que ministram cursos e pesquisam a arte da luteria no país. A Universidade Federal do Paraná possui desde 2007 curso de graduação na área de luteria, permitindo que novos aprendizes e pesquisadores possam avançar nas técnicas de construção de instrumentos musicais, além de abrir a possibilidade para a utilização e experimentação de novas espécies de madeiras no processo produtivo (UFPR, 2020).

A escolha da madeira ideal para fabricação de instrumentos musicais depende da qualidade da sua percussão sonora, a qual se deve às propriedades de ressonância do instrumento que, por sua vez são relacionadas às propriedades intrínsecas do material, tais como o módulo de elasticidade, o coeficiente de amortecimento, o coeficiente de radiação sonora, a densidade básica e o conteúdo de extrativo (Traoré et al. 2010).

O uso de processos tecnológicos de modificação da madeira através de tratamentos químicos, biológicos ou físicos, pode otimizar as propriedades da madeira, melhorando suas qualidades acústicas para o uso específico em instrumentos musicais (Mania & Skrodzka, 2020). Esses processos abrem a possibilidade para que espécies, antes consideradas não tão apropriadas para fabricação de instrumentos musicais, tenham um incremento permitindo seu uso em instrumentos de melhor qualidade (Bucur, 2016).

3.4.1 Propriedades Físicas

O teor de umidade, embora não seja uma característica intrínseca da madeira, é um parâmetro importante a ser levado em conta, sempre que se consideram as propriedades físico-mecânicas da madeira, pela capacidade que tem de provocar alterações dimensionais e interferir nessas propriedades (Oliveira & Silva, 2003; Melo, 2013). De acordo com Wegst (2006), a densidade, o módulo de elasticidade e a estabilidade dimensional, propriedades fundamentais para o desempenho acústico de uma madeira, são altamente dependentes do teor de umidade.

A madeira é um material higroscópico, capaz, portanto, dos fenômenos de dessorção e adsorção de água, retraindo-se e inchando, a depender das condições de umidade do meio ambiente (Lima et al., 2017). As condições de umidade relativa do ar e da temperatura influenciam diretamente o teor de umidade de equilíbrio da madeira interferindo nas suas propriedades físicas e mecânicas (Bucur, 2006; USDA, 2010).

O ponto de saturação das fibras (PSF) indica o teor de saturação da parede celular da madeira, quando ela não consegue mais adsorver água, não ocorrendo alteração dimensional acima deste ponto (USDA, 2010). O PSF é diferente entre as espécies, considera-se um valor médio de 30% de teor de umidade da madeira, sendo muito importante o conhecimento do seu valor para planejar o processo de secagem da madeira (Marques, 2008). A Norma Brasileira NBR 7190 considera o valor médio do PSF como sendo de 25% (ABNT, 1997). ALMEIDA (2015) estudando 15 espécies tropicais brasileiras encontrou valores médios de 21,60%. É abaixo do PSF que começam a ocorrer as principais alterações na madeira, influenciando em suas propriedades e sua resistência (USDA, 2010).

A densidade, ou massa específica, constitui uma das propriedades mais importantes para a seleção e classificação das madeiras (Mattos et al., 2011; Eleotério et al., 2015). É um requisito essencial na escolha da matéria prima para fabricação de instrumentos musicais ou de seus componentes em relação aos usos pretendidos (Marques et al., 2012). Seus valores são influenciados por fatores genéticos, ambientais e pela idade da árvore (Trautenmüller, 2014). As variações também ocorrem tanto no sentido longitudinal, ou seja, da base para o topo, como no sentido radial, da medula para a casca (Oliveira et al., 2010).

A densidade das madeiras apresenta, em geral, uma variação natural de 0,13 g/cm³, valor encontrado para a balsa (*Ochroma lagopus*), a 1,40 g/cm³, encontrado para a muiratinga (*Brosimum guianense*) (Bucur, 2016). A norma americana ASTM 2395 prevê o cálculo de quatro tipos diferentes de densidades da madeira: densidade seca; densidade verde; densidade aparente e densidade básica (ASTM, 2014).

A densidade verde é a relação entre a massa e o volume da amostra em condição de completa saturação por água. Essa medida é utilizada na estimativa de peso para transporte, para cálculo de estruturas e em programas de secagem (Melo, 2002).

A densidade seca expressa a relação entre a massa e o volume da amostra, ambos em condição seca em estufa (103°C ± 2°C), até 0% teor de umidade (ASTM, 2014). Utilizada na avaliação de espécies para fins energéticos (Melo, 2002).

A densidade básica é calculada levando em consideração a razão entre a massa seca em estufa e o seu volume verde ou saturado (ASTM, 2014). A densidade básica é um dado importante, pois seu valor não varia com o teor de umidade da madeira e representa uma determinação absoluta da matéria lignocelulósica em um volume unitário de madeira (Traoré et al., 2010).

MELO et al. (1990), estudando 180 espécies de madeiras da Amazônia brasileira, propuseram a classificação em três classes diferentes de densidade básica: madeiras leves com densidade básica menor ou igual a 0,50 g/cm³; madeiras médias com densidade básica entre 0,51 g/cm³ e 0,72 g/cm³; e madeiras pesadas com densidade básica maior ou igual a 0,73 g/cm³. Nesse estudo também foi

constado que houve uma maior frequência das espécies estudadas para as classes de madeiras de densidade médias, pesadas e leve, nessa ordem.

Para fabricação de alguns tipos de instrumentos musicais, como os cordofones (instrumentos de cordas), são necessárias madeiras de diferentes densidades para compor o instrumento (Yoshikawa & Whaltam, 2014). Madeiras utilizadas para tampos de violões, violinos e tábuas harmônicas de piano, geralmente são fabricadas por espécies com densidades variando entre 0,35 a 0,55 g/cm³ (Wegst, 2006). Em guitarras elétricas, por exemplo, madeiras de baixa densidade são utilizadas somente para o corpo do instrumento, madeiras de densidade média são utilizadas no corpo e braço do instrumento e madeiras de alta densidade somente para a escala (Ahvenainen, 2019).

Para confecção de arcos de violino feitos de pau-brasil, Alves et al. (2008) constataram que os arcos de melhor qualidade são aqueles com densidade entre 1,0 a 1,04 g/cm³, e que valores acima dessas densidades irão acarretar arcos mais finos para manutenção do seu peso ideal. A densidade da espécie *Acer saccharium*, muita utilizada para laterais e fundos de violinos e em outros instrumentos de cordas, varia de 0,54 a 0,70 g/cm³ (Ahvenainen, 2019).

Em testes laboratoriais as madeiras geralmente são acondicionadas previamente em ambiente com controle de temperatura e umidade relativa do ar. Esse procedimento permite que os resultados dos testes sejam atribuídos a um determinado teor de umidade de equilíbrio da madeira. Isso permite uma padronização para comparação de dados experimentais (ASTM, 2014). A densidade aparente é determinada neste momento e depende do teor de umidade da madeira, refletindo o estado atual e específico em que a madeira se encontra (Logsdon, 1998).

A madeira é um material anisotrópico e o tipo de orientação no corte (tangencial ou radial) também influencia nas propriedades da madeira dentro da mesma espécie (Serpa et al., 2003). Alterações dimensionais ocorrem de forma desigual aos planos de orientação da madeira, dependendo da umidade abaixo do PSF (Cezaro et al., 2016). Sua retratibilidade é proporcionalmente maior no sentido tangencial do que no sentido radial, sendo muito baixa no sentido longitudinal, menor que 1% (Oliveira et al., 2010).

Segundo Durlo e Marchiori (1992), o mais importante índice para se avaliar a estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente anisotrópico, ou fator anisotrópico, definido pela relação entre as contrações tangencial e radial (T/R) em condições de retração ou inchamento. Segundo os autores a estabilidade dimensional de espécies com coeficientes anisotrópicos com valores menores que 1,5 é considerada excelente, com valores entre 1,5 e 2 é considerada normal e com valores acima de 2 considerada ruim. Quanto maior esse fator, maior é a tendência ao fendilhamento e ao empenamento da madeira no processo de secagem (Oliveira et al., 2010).

Para instrumentos musicais, muitas madeiras são acondicionadas e guardadas por vários anos, para uma secagem lenta e para atingir um equilíbrio do teor de umidade com o meio, para sua posterior utilização (Sproßmann et al., 2017). Os *luthiers* selecionam as peças de madeiras procurando as melhores respostas acústicas no instrumento e sua durabilidade, por essa razão procuram preferencialmente usar madeiras com boa estabilidade dimensional e cortes na madeira orientados no sentido radial (Bucur, 2016).

3.4.2 Teor de Extrativos

As árvores produzem substâncias químicas que se acumulam ao longo de suas vidas, concentradas no interior de suas células parenquimatosas e nos canais de resinas e de gomas (Foelkel, 1977). A maioria dessas substâncias, conhecidas como extrativos da madeira, são solúveis em solventes orgânicos neutros ou água (Morais et al., 2005). Os extrativos estão entre as características mais diversificadas da madeira, tanto na sua natureza como no seu quantitativo (Brémaud et al., 2011).

Os extrativos podem ser classificados em vários grupos, de acordo com as suas características estruturais. Os extrativos comumente encontrados na madeira consistem de um material orgânico oleofílico, de baixa massa molecular, como as resinas: terpenos, lignanas, estíbenos, flavonoides e outros aromáticos, podendo ainda estar presentes outros compostos orgânicos, de elevada massa molecular, como gorduras, ceras, ácidos graxos, álcoois, esteroides e hidrocarbonetos (Sarto & Sansigolo, 2010).

A quantidade e qualidade dos extrativos na madeira variam entre espécies e entre indivíduos da mesma espécie (Klock, et al., 2005). O teor de extrativos pode variar significativamente dependendo da origem da madeira e da posição ao longo do tronco (Traoré et al., 2010). Sua maior concentração está localizada na região do cerne, influenciando na massa específica da madeira, na estabilidade dimensional e na resistência natural ao ataque de organismos xilófagos (Taylor et al., 2002; Kirker et al., 2013).

As propriedades vibracionais da madeira podem ser afetadas por vários parâmetros, sendo os extrativos um dos mais importantes (Golpayegani et al., 2012). A influência dos extrativos está relacionada ao decaimento vibracional da madeira produzindo um baixo coeficiente de amortecimento (Matsunaga et al., 1999; Wegst, 2006; Brémaud et al., 2011).

Diversos estudos foram realizados comparando o efeito dos extrativos em madeiras utilizadas para fabricação de instrumentos musicais, demonstrando que a retirada dos extrativos da madeira acarretou em aumento do coeficiente de amortecimento dessas espécies, piorando suas qualidades acústicas (Minato et al., 2010; Brémaud et al., 2011; Golpayegani et al., 2012; Farvardin et al., 2015).

A extração de extrativos de madeiras como o pau-brasil, e sua impregnação em outras espécies, no intuito de melhorar suas propriedades acústicas, tem sido estudada por vários autores, cujos resultados demonstram um incremento na qualidade sonora das espécies impregnadas com esses extrativos (Matsunaga et al., 1999; Alves et al., 2008; Kirker et al., 2013).

MINATO et al. (2010) estudando a madeira de muirapiranga (*Brosimum* sp.), verificaram que os extrativos contribuem para o baixo coeficiente de amortecimento dessa espécie, e a impregnação de seus extrativos em outras espécies acarretou em uma diminuição do coeficiente de amortecimento das espécies impregnadas.

No entanto, outros estudos mostraram que a qualidade da madeira de pau-brasil para a manufatura de arcos é muito variável dentro da mesma espécie de *P. echinata*, e depende de uma multiplicidade de fatores, entre os quais a densidade parece ser o principal. Amostras procedentes de arcos de baixa qualidade apresentaram alto conteúdo de extrativos (Alves et al., 2008; Schimleck et al., 2009; Longui et al., 2012).

LONGUI et al. (2012) estudando a composição química de madeiras alternativas para confecção de arcos de violino, incluindo o teor de extrativos, verificaram diferenças significativas no teor de extrativos entre a madeira de pau-brasil e outras espécies que produziram arcos de qualidade, sugerindo que a composição química não pode ser um parâmetro isolado para qualificar madeiras para fabricação de arcos de violino.

3.4.3 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas de um corpo sólido, resistência e elasticidade, referem-se à sua capacidade de resistir às alterações de forma e tamanho quando uma força externa é aplicada (Rocha et al., 1988). Resistência é a capacidade de suportar carga até um ponto máximo de ruptura e a elasticidade é a capacidade de voltar à forma e tamanho normais, sem apresentar deformações residuais, uma vez retirada a carga aplicada até um limite de proporcionalidade (Moreschi, 2012).

A madeira pode ser considerada como um material ortotrópico, com propriedades únicas e independentes nos diferentes planos da madeira: longitudinal, radial e tangencial (Melo, 2002; Bucur, 2016). Para descrever o comportamento elástico da madeira doze constantes elásticas são necessárias, sendo três módulos de elasticidade, três módulos de rigidez e seis coeficientes de Poisson (USDA, 2010). A análise de desempenho de qualquer componente estrutural requer o conhecimento das propriedades elásticas do material que o constitui (Alves, 2017).

Como as variações das propriedades de resistência da madeira não variam muito no sentido radial e tangencial, para efeitos práticos de cálculo e dimensionamento de estruturas, as normas para

caracterização das propriedades mecânicas das madeiras determinam que os ensaios podem ser realizados calculando o esforço somente nas direções paralela e perpendicular às fibras (Melo & Camargos, 2016).

O módulo de elasticidade (MOE) é uma propriedade mecânica muito importante para avaliar o comportamento da madeira em um sistema vibratório (Henrique, 2009). Pode ser considerado como uma das propriedades mecânicas mais importantes para caracterização da qualidade do material (Hasníková & Kuklík, 2014). Pode-se dizer que quanto mais alto o MOE, mais alta é a resistência da madeira e mais baixa sua deformação, e vice-versa (Moreschi, 2012).

O MOE no sentido das fibras reflete o comportamento mecânico das madeiras utilizadas em instrumentos musicais (Bucur, 2016). O MOE influencia a energia de propagação e dissipação ao longo do arco de violino, sendo que altos valores de MOE perdem menos energia vibracional ao se friccionar as cordas do instrumento com o arco, permitindo um aproveitamento melhor da energia do músico para produzir o mesmo resultado com menos esforço (Alves et al., 2008).

As propriedades de resistência estão diretamente correlacionadas à densidade da madeira. Em geral, madeiras mais densas são mais resistentes, sendo que para espécies com mesmas densidades pode haver diferenças, para mais ou para menos, nos valores da resistência (Melo & Camargos, 2016). Dentre as propriedades mecânicas da madeira, destacam-se a resistência à ação de forças externas, tais como compressão, flexão, tração, cisalhamento e fendilhamento (Araújo, 2007).

A densidade e o módulo de elasticidade são bons parâmetros a serem considerados para avaliar o desempenho no uso de madeiras alternativas em guitarras elétricas (Ahvenainen, 2019). Madeiras utilizadas para tampos de violões e violinos possuem como característica uma baixa densidade com alto valor para o módulo de elasticidade. Por se tratar de propriedades com correlação direta, há dificuldades de se encontrar espécies de madeiras que satisfaçam essas condições ao mesmo tempo (Mania & Skrodzka, 2020).

Além do MOE, outras propriedades mecânicas, como o módulo de ruptura (MOR) e módulo de cisalhamento, também são utilizados como critérios para seleção de madeiras para alguns tipos de instrumentos musicais (Alves et al., 2008; Longui et al., 2012; Yoshikawa & Whaltam, 2014; Bucur, 2016).

A utilização de métodos não destrutivos para avaliação das propriedades da madeira substitui com vantagem os métodos tradicionais, uma vez que estes métodos não danificam as amostras testadas e podem dar resultados precisos com rapidez e eficiência (Hasníková & Kuklík, 2014).

A utilização de diferentes métodos e equipamentos não destrutivos para estimar as propriedades mecânicas da madeira tem sido estudada por vários autores, sendo que o comparativo entre os diferentes métodos, demonstrando a eficiência e precisão de cada um, pode ser determinado

pelo coeficiente de determinação ao se comparar os valores do MOE, obtido pelo ensaio flexão estática, e do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd), obtido pelos diferentes equipamentos não destrutivos (Candian & Sales, 2009; Del Mennezi et al., 2010; Teles et al., 2011; Ribeiro et al., 2016).

3.4.4 Propriedades Acústicas

Durante o longo período histórico na fabricação de instrumentos musicais, centenas de espécies de madeiras foram utilizadas para fabricar instrumentos de cordas, de sopros e percussivos, e a seleção das espécies para cada tipo de instrumento foi realizada de forma empírica pela disponibilidade local da matéria-prima (Bucur, 2016).

Fabricantes de violinos adotam critérios na seleção das peças de madeira para o tampo de seus instrumentos levando em conta a procedência da madeira, aspectos visuais, como a contagem do número de anéis de crescimento, o peso e a sonoridade das peças (Carlier et al., 2018).

A qualidade da ressonância de um material é resultado de suas propriedades físicas e acústicas que expressam a habilidade de manter o som original emitido pela radiação sonora (Dinulica et al., 2015). Para um bom design de um instrumento musical é preciso colocar a madeira certa no local certo (Yoshikawa & Whaltam, 2014).

As propriedades acústicas das madeiras podem ser obtidas através de diferentes métodos não destrutivos. Dentre eles destacam-se o método de vibração, que tem como principal parâmetro a frequência de ressonância, e o método com ultrassom, que tem como principal parâmetro a velocidade de propagação sonora (Bucur, 2016).

A técnica de excitação por impulso determina os módulos elásticos e amortecimento de um material a partir das frequências naturais de vibração de um corpo de prova de geometria regular (barra, cilindro, disco ou anel). Usando um tratamento matemático (Transformada Rápida de Fourier), é possível obter um espectro das frequências geradas pelo impacto mecânico de curta excitação, com a captação da resposta acústica por um sensor (Otani et al., 2015).

A frequência fundamental é aquela obtida pelo primeiro maior pico no espectro das frequências de ressonância, sendo os demais picos considerados como o conjunto de harmônicos que possuem uma relação direta com a frequência fundamental (Henrique, 2009). O timbre e a qualidade do som produzidos por um instrumento musical em vibração depende do conjunto das frequências de ressonâncias geradas (Bucur, 2016).

DÜNISCH (2019), estudando o comportamento vibracional de 16 espécies de coníferas e 74 espécies de folhosas, constatou diferenças na resposta acústica gerada pelo espectro das frequências de ressonância naturais. O autor, relacionando as espécies com os picos de detecção das frequências dominantes e seus harmônicos, classificou-as em quatro tipos diferentes de espectros, e encontrou

diferenças no comportamento vibracional entre coníferas e folhosas, assim como aspectos anatômicos similares para cada um dos tipos de espectro gerados.

Os principais parâmetros para determinação das propriedades acústicas da madeira são a densidade, o módulo de elasticidade e o coeficiente de amortecimento (Bucur, 2006). Algumas propriedades acústicas utilizadas para seleção de madeiras para instrumentos musicais podem ser obtidas pela relação direta entre a densidade e o módulo de elasticidade da madeira: a velocidade de propagação sonora (c); a impedância acústica (z); e o coeficiente de radiação sonora (R). São exemplos dessas relações as Equações 01, 02 e 03 (Wegst, 2006):

Eq. 01,

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Onde,

c = velocidade de propagação sonora;

E = módulo de elasticidade;

ρ = densidade;

Eq. 02,

$$z = \sqrt{E\rho} = c\rho$$

Onde,

z = impedância acústica;

E = módulo de elasticidade;

ρ = densidade;

c = velocidade de propagação sonora;

Eq. 03,

$$R = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}}$$

Onde,

R = coeficiente de radiação sonora;

E = módulo de elasticidade;

ρ = densidade;

A velocidade de propagação sonora pode ser considerada uma das propriedades acústicas de maior importância para seleção dos materiais utilizados para fabricação de instrumentos musicais (Wegst, 2006). Madeiras tradicionais utilizadas para tampos de instrumentos de cordas e tábuas

harmônicas de piano apresentam velocidade de propagação sonora superiores a 5000 m/s (Bucur, 2016).

A espessura das peças de madeira utilizadas em instrumentos musicais influencia na vibração e na radiação sonora do instrumento (Yoshikawa & Whaltam, 2014). A impedância característica (z) é importante quando há transmissão da energia vibracional de um meio a outro, como nos casos dos cordofones, sendo importante que as impedâncias dos diferentes materiais do instrumento, como a corda e a caixa acústica do instrumento, sejam controladas com cuidado, para atingir uma alta qualidade do som (Wegst, 2008).

O coeficiente de radiação sonora (R) está relacionado com a amplitude média ou o volume do som emitido (Wegst, 2008). Pode ser considerado como um dos parâmetros mais relevantes para avaliação da qualidade de madeiras para utilização em tábua harmônica de piano (Bucur, 2016).

A razão entre o módulo de elasticidade no sentido longitudinal e a densidade da madeira, conhecida como módulo específico de elasticidade ou módulo de rigidez específica (E/ρ) também é utilizada para caracterizar o material para instrumentos musicais. Quanto maior seu valor, melhor será a qualidade acústica da madeira para utilização em instrumentos musicais (Brémaud et al., 2010; Brémaud et al., 2012; Alkadri et al., 2018).

O coeficiente de amortecimento ou fricção interna ($\tan \delta$), assim como o amortecimento e o decaimento logarítmico, são medições correlatas, medem o tempo em que o material dissipa energia vibracional por atrito e independem da densidade e do módulo de elasticidade (Wegst, 2006). O atrito interno faz-se por dissipação térmica, sendo uma propriedade dos materiais sólidos de transformar energia mecânica em calor quando submetidos a uma excitação (Brancheriau et al., 2010). Havendo muito atrito, a perda de energia no sistema é muito rápida (Henrique, 2009).

O amortecimento determina a amplitude de vibração na ressonância e o tempo de persistência da vibração depois de cessada a excitação, podendo ser calculado através do decaimento logarítmico da amplitude pelo tempo da frequência fundamental (Cossolino & Pereira, 2010). TELES et al. (2018), estudando as propriedades acústicas de dez espécies de madeiras tropicais brasileiras, calcularam o decaimento logarítmico pela Equação 04.

Eq. 04,

$$DL = \frac{\pi * \Delta f}{\sqrt{3} * Fr}$$

Onde,

DL = decaimento logarítmico;

Δf = diferença entre pontos opostos com a frequência na metade da amplitude (Hz).

Fr = frequência fundamental de ressonância (Hz);

A qualidade das madeiras utilizadas em instrumentos musicais está associada ao baixo coeficiente de amortecimento, sendo uma propriedade intrínseca do material (Brémaud, 2012). O fator de qualidade (Q), expresso pela Equação 05, também utilizado para classificar o amortecimento, pode ser obtido pela relação com o coeficiente de amortecimento (Carlier et al., 2014).

Eq. 05,

$$Q = \frac{1}{\tan \delta}$$

Onde,

Q = fator de qualidade;

$\tan \delta$ = coeficiente de amortecimento;

Há ainda outro parâmetro também utilizado para classificação de madeiras para instrumentos musicais, chamado de eficiência de conversão acústica (ACE), expresso na Equação 06, que representa a resposta do pico do som (Brémaud, 2012). Diferentemente dos outros parâmetros a ACE leva em consideração o coeficiente de amortecimento do material ($\tan \delta$).

Eq. 06,

$$ACE = \frac{R}{\tan \delta} = \frac{\sqrt{\frac{E}{\rho^3}}}{\tan \delta}$$

Onde,

ACE = eficiência de conversão acústica;

R = coeficiente de radiação sonora;

E = módulo de elasticidade;

ρ = densidade;

$\tan \delta$ = coeficiente de amortecimento;

YOSHIKAWA (2007) propôs critérios de seleção e classificação de madeiras para fabricação de violões baseado na relação entre a densidade da madeira (ρ) e a velocidade de propagação sonora (c), o que chamou de parâmetro de vibração (c/ρ), e a relação da velocidade de propagação sonora com o fator de qualidade ($c \times Q$). O autor verificou que a relação positiva entre a velocidade de propagação sonora e o fator de qualidade, com valores altos, são importantes para produzir bons tampos, laterais e fundos de violão, enquanto o parâmetro de vibração (c/ρ) deve ser maior para tampos, quando comparadas as madeiras de lateral e fundo.

WEGST (2006) analisou as principais propriedades das madeiras de espécies tradicionais utilizadas para fabricação dos diferentes tipos de instrumentos musicais. Em seu estudo, gerou gráficos

relacionando as propriedades das madeiras identificando os intervalos e faixas ideais para cada tipo de instrumento musical (Figura 1). Entre as propriedades analisadas destacam-se a densidade, o módulo de elasticidade, a velocidade de propagação sonora e o coeficiente de amortecimento.

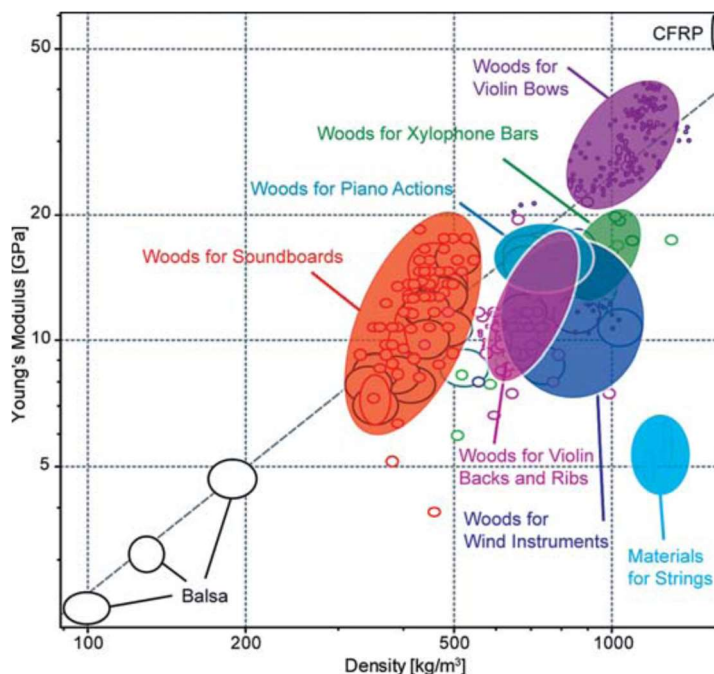


Figura 1. Relação entre a densidade e o módulo de elasticidade longitudinal para diferentes tipos de instrumentos musicais (Wegst, 2006).

3.5 Espécies Utilizadas no Estudo

A descrição dos caracteres gerais e caracteres anatômicos das espécies utilizadas neste estudo foram baseadas no trabalho de Coradin et al. (2010), que desenvolveu uma chave interativa para identificação anatômica de madeiras comerciais brasileiras contendo a descrição macroscópica de 154 espécies nativas. Devido à grande diversidade de nomes populares ou comuns dado a mesma espécie, com variação entre diferentes regiões, foi selecionado para o presente estudo, somente o nome popular destacado em negrito, para cada uma das espécies, conforme apresentado a seguir.

Allantoma decandra (Ducke) S.A. Mori, Ya Y.Huang & Prance (**Jequitibá**)

O gênero *Allantoma* pertence à família Lecythidaceae, com ocorrência de oito espécies no Brasil (SiBBr, 2021). A espécie *A. decandra* não é endêmica do Brasil. Tem distribuição geográfica no país na região norte, com ocorrências confirmadas nos estados do Acre, Amazonas, Pará e Rondônia. Domínio fitogeográfico da Amazônia, crescendo em vegetação do tipo: Floresta de Terra Firme (Flora do Brasil, 2020).

Dados sobre comercialização: não incluída na lista das 100 espécies nativas mais comercializadas no Brasil em 2008 e 2009 (Coradin et al., 2010). Não incluída na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Não incluída nos anexos da CITES. A espécie *Allantoma lineata*, mesmo gênero da *A. decandra*, consta como uma das 25 espécies nativas mais comercializadas do Brasil no período de 2010 a 2017 (IBAMA, 2019).

Não foram encontradas referências acerca de usos específicos, podendo ser utilizada para usos similares a outras espécies do gênero. Usos encontrados para *A. lineata*: cabo para rodo, vassoura e esfregão, cabo para utensílio (faca, canivete, talher, cabo de panela e bandeja), cabo para utensílio de horta e jardim (cutelo, ancinho e sacho), embarcação (convés, defesa, quilha e casco de barco), embarcação (canoa), escultura, guarda-sol, hélice de ventilador, móvel em geral (móvel doméstico, móvel de escritório, móvel de luxo e carteira escolar), pequeno objeto (puxador, brinquedo, cinzeiro, cabide, prendedor de roupa, escova de lavar e tábua para bater carne), raquete (tênis, frescobol e pingue-pongue), revestimento em geral (forro e lambri), taco para esporte (taco de bilhar, polo e golfe), tonel e torneado (Melo & Camargos, 2016).

Características gerais: cerne e albúrneo indistintos pela cor com cerne rosado, sem alteração de cor por foto-oxidação. Limites dos anéis de crescimento indistintos ou pouco distintos. Madeira sem brilho nas superfícies longitudinais, com cheiro perceptível desagradável, moderadamente dura ao corte transversal manual, com grã direita, textura média e figura ausente (Coradin et al., 2010).

Vasos/poros: presentes e visíveis apenas com lente de 10x, com diâmetro médio (de 100 a 200 μm), de distribuição difusa, com frequência baixa (até 5 vasos por mm^2). Proporções semelhantes de vasos solitários e em múltiplos radiais, com menos de quatro vasos dispostos em padrão não definido, de formato circular a oval. Placas de perfuração observadas com auxílio de lente de 10x, simples e com vasos desobstruídos (Figura 2) (Coradin et al., 2010).

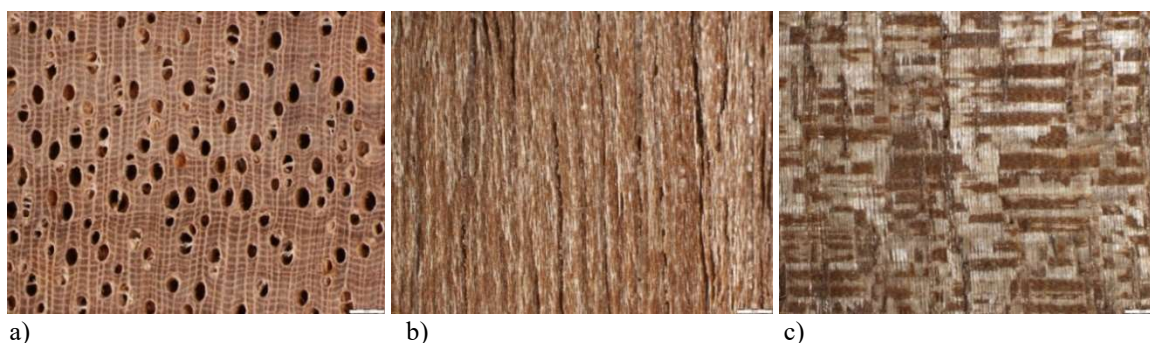


Figura 2. Fotomacrografias da espécie *Allantoma decandra* (jequitibá) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF).

Parênquima axial: observado apenas com auxílio de lente de 10x, em faixas ou faixas reticuladas. Raios: observados apenas com lente de 10x nas duas superfícies, contrastados na superfície radial, finos (menor que 100 µm de largura), baixos (menor do que 1 mm de altura) e pouco frequentes (de 5 a 10 raios por mm) (Coradin et al., 2010).

Estruturas estratificadas: ausentes. Estruturas secretoras: não observadas; ou presentes, formadas por canais intercelulares de origem traumática. Variantes cambiais: não observadas. Testes químicos e físicos: teste de cromazurol negativo; teste de fluorescência negativo; densidade básica entre 0,50 e 0,72 g/cm³. Outras observações: as camadas de crescimento, quando observadas, são individualizadas pelo decréscimo da frequência de faixas de parênquima, resultando em uma zona fibrosa distinta (Coradin et al., 2010).

Dipteryx odorata (Aubl.) Willd. (Cumaru-ferro)

O gênero *Dipteryx* pertence à família Fabaceae, com ocorrência de 10 espécies no Brasil (SiBBr, 2021). Dentre as espécies deste gênero duas foram selecionadas no presente estudo (*D. odorata* e *D. magnifica*).

D. odorata não é endêmica do Brasil, tem distribuição geográfica no país na região norte, nordeste e centro-oeste, com ocorrência confirmada nos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Rondônia, Roraima, Maranhão e Mato Grosso. Domínio fitogeográfico da Amazônia, crescendo em vegetação do tipo: Floresta de Terra Firme e Floresta Ombrófila (Flora do Brasil, 2020).

Dados sobre comercialização: incluída na lista das 100 espécies nativas mais comercializadas no Brasil em 2008 e em 2009 (Coradin et al., 2010). Consta como uma das 25 espécies nativas mais comercializadas do Brasil no período de 2010 a 2017 (IBAMA, 2019). Não incluída na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Não incluída nos anexos da CITES.

Usos: cruzeta, dormente, escultura, esquadria (janela, porta maciça, caixilho, portal, escada, alizar e rodapé), estrutura de cobertura (viga, caibro e ripa), piso residencial (tábua corrida e taco), piso industrial interno e piso externo (deque e passarela), pilar, viga e tabuleiro ou estrado de ponte, estaca marítima, poste para energia, estaca e esticador de cerca, revestimento em geral (parede interna e externa), sauna, telha de madeira e torneado (Melo e Camargos, 2016).

Características gerais: cerne e alburno distintos pela cor, com cerne amarelado ou amarronzado. Sem alteração de cor por foto-oxidação. Limites dos anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas tangencias mais escuras. Madeira sem brilho nas superfícies longitudinais e com cheiro imperceptível. Dura ao corte transversal manual, grã entrecruzada ou revessa com textura média. Figura presente, aspecto fibroso, causada pelo contraste entre fibras e parênquima axial ou causada pelo destaque de linhas vasculares (Coradin et al., 2010).

Vasos/poros: presentes, visíveis apenas com lente de 10x, com diâmetro pequeno (menores que 100 µm), de distribuição difusa, com frequência média (de 6 a 30 vasos por mm²), predominantemente solitários (mais que 2/3). Dispostos em padrão não definido, de formato circular a oval. Placas de perfuração não observadas mesmo com lente de 10x. Parte dos vasos obstruídos por substância de cor esbranquiçada (Figura 3) (Coradin et al., 2010).

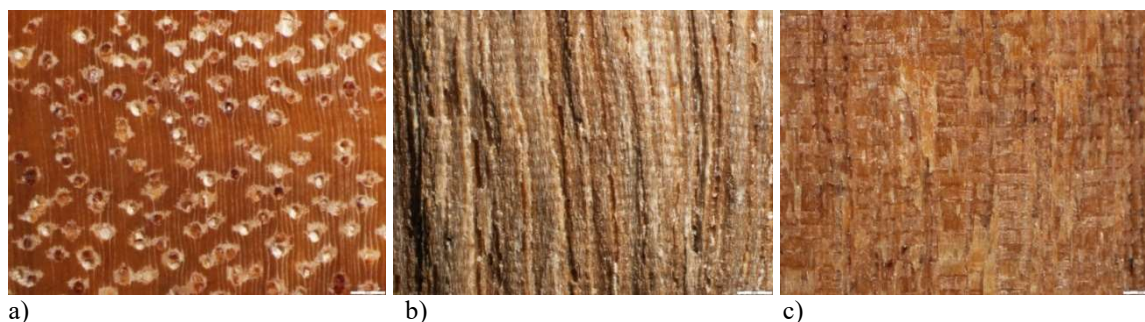


Figura 3. Fotomacrorgrafias da espécie *Dipteryx odorata* (cumaru-ferro) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x).). Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF).

Parênquima axial: observado apenas com auxílio de lente de 10x, do tipo paratraqueal; paratraqueal aliforme linear de extensão curta; ou aliforme losangular. Raios: observados a olho nu na superfície transversal; ou apenas com lente de 10x na superfície tangencial, pouco contrastados na superfície radial e finos (menor que 100 µm de largura), baixos (menor do que 1 mm de altura) e pouco frequentes (de 5 a 10 raios por mm) (Coradin et al., 2010).

Estruturas estratificadas: presentes, regulares, duas listras por mm axial. Estruturas secretoras: não observadas. Variantes cambiais: não observadas. Testes químicos e físicos: teste de cromazurol negativo; teste de fluorescência positivo, de coloração esverdeada; densidade básica maior que 0,72 g/cm³. Outras observações: as espécies deste gênero são de difícil distinção, tendo um grande volume de madeira comercializado apenas em nível genérico (Coradin et al., 2010).

Dipteryx magnifica (Ducke) Ducke (**Cumaru-rosa**)

A espécie *D. magnifica* não é endêmica do Brasil, tem distribuição geográfica na região norte com ocorrência confirmada nos estados do Amazonas, Amapá e Pará. Domínio fitogeográfico da Amazônia, crescendo em vegetação do tipo: Campinarana, Floresta de Igapó, Floresta de Terra Firme e Floresta Ombrófila (Flora do Brasil, 2020).

Dados sobre comercialização: não incluída na lista das 100 espécies nativas mais comercializadas no Brasil em 2008 e em 2009 (Coradin et al. 2010). Não consta como uma das 25

espécies nativas do Brasil mais comercializadas do Brasil no período de 2010 a 2017 (IBAMA, 2019). Não incluída na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Não incluída nos anexos da CITES.

Não encontrados referências aos seus usos específicos, podendo ser utilizada para usos similares a outras espécies do gênero, como *D. odorata*.

Características gerais: cerne/alburno distintos pela cor, cerne avermelhado. Sem alteração de cor por foto-oxidação. Limites dos anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas tangencias mais escuras. Madeira sem brilho nas superfícies longitudinais, com cheiro imperceptível. Dura ao corte transversal manual, grã entrecruzada ou reversa com textura média. Figura presente de aspecto fibroso, causada pelo contraste entre fibras e parênquima axial, ou causada pelo destaque de linhas vasculares (Coradin et al., 2010).

Vasos/poros: presentes, visíveis apenas com lente de 10x. Diâmetro pequeno (menores que 100 μm) de distribuição difusa, frequência média (de 6 a 30 vasos por mm^2), predominantemente solitários (mais que 2/3), dispostos em padrão não definido, de formato circular a oval. Placas de perfuração não observadas mesmo com lente de 10x. Parte dos vasos obstruídos por substância de cor esbranquiçada (Figura 4) (Coradin et al., 2010).

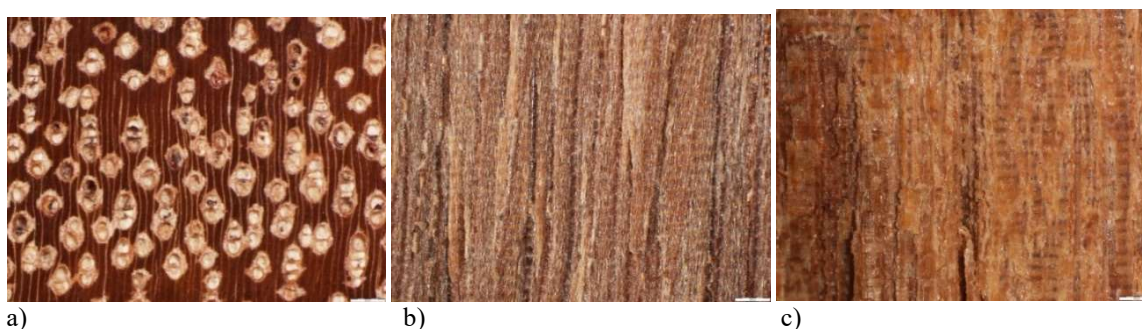


Figura 4. Fotomacrografias da espécie *Dipteryx magnifica* (cumaru-rosa) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF).

Parênquima axial: observado apenas com auxílio de lente de 10x, paratraqueal, paratraqueal aliforme linear de extensão curta, ou aliforme losangular. Raios: observados a olho nu na superfície transversal, ou apenas com lente de 10x na superfície tangencial, pouco contrastados na superfície radial, finos (menor que 100 μm de largura), baixos (menor do que 1 mm de altura) e pouco frequentes (de 5 a 10 raios por mm) (Coradin et al., 2010).

Estruturas estratificadas: presentes, regulares com duas listras por mm axial. Estruturas secretoras: não observadas. Variantes cambiais: não observadas. Testes químicos e físicos: teste de

cromazuol negativo; teste de fluorescência negativo; densidade básica maior que 0,72 g/cm³. Outras observações: as espécies deste gênero são de difícil distinção, tendo um grande volume de madeira comercializado apenas em nível genérico (Coradin et al., 2010).

Erisma uncinatum Warm. (Cedrinho)

O gênero *Erisma* pertence à família Vochysiaceae, com ocorrência de 15 espécies no Brasil (Flora do Brasil, 2020). Na espécie *E. uncinatum*, as árvores podem chegar a 40 metros de altura. Não é endêmica do Brasil, com distribuição geográfica no país na região norte, nordeste e centro-oeste, com ocorrência confirmada nos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Rondônia, Mato Grosso e Maranhão. Domínio fitogeográfico da Amazônia, crescendo em vegetação do tipo: Floresta de Terra Firme (Flora do Brasil, 2020).

Dados sobre comercialização: incluída na lista das 100 espécies nativas mais comercializadas no Brasil em 2008 e em 2009 (Coradin et al., 2010). Consta como uma das 25 espécies nativas mais comercializadas do Brasil nos períodos de 2012 a 2017 (IBAMA, 2019). Não incluída na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Não incluída nos anexos da CITES.

Usos: cabo para utensílio de horta e jardim (cutelo, ancinho e sacho), embalagem leve (caixotaria em geral, caixotaria para gêneros alimentícios e caixão), pequeno objeto (objeto de adorno, moldura e estojo) e revestimento em geral (forro) (Melo & Camargos, 2016).

Características gerais: cerne/alburno distintos pela cor. Cerne amarronzado, sem alteração de cor por foto-oxidação. Limites dos anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas tangencias mais escuras. Madeira sem brilho nas superfícies longitudinais e com cheiro imperceptível. Moderadamente dura ao corte transversal manual, grã direita com textura média, ou grossa. Figura presente causada pelo destaque de linhas vasculares (Coradin et al., 2010).

Vasos/poros: presentes, visíveis a olho nu com diâmetro médio (de 100 a 200 µm); ou diâmetro grande (maiores de 200 µm), de distribuição difusa. Frequência baixa (até 5 vasos por mm²), predominantemente solitários (mais que 2/3), dispostos em padrão não definido, de formato circular a oval. Placas de perfuração não observadas mesmo com lente de 10x e maioria dos vasos obstruídos por tilos (Figura 5) (Coradin et al., 2010).

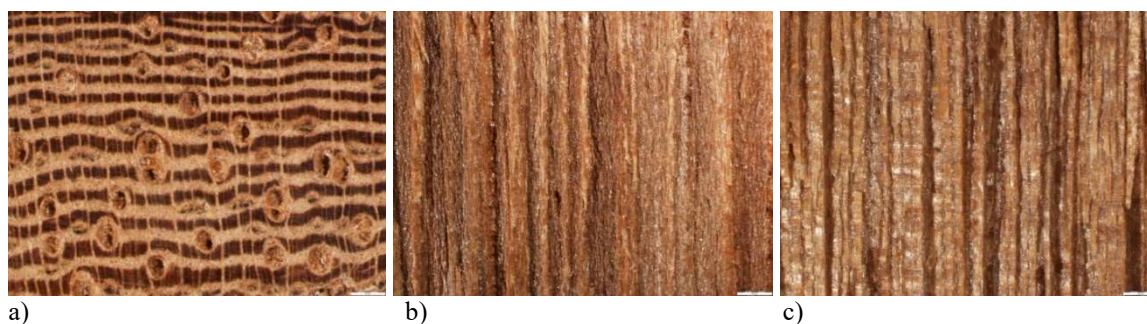


Figura 5. Fotomicrografias da espécie *Erisma uncinatum* (cedrinho) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF).

Parênquima axial: observado a olho nu, em faixas ou em faixas largas. Raios: observados apenas com lente de 10x nas duas superfícies, não contrastados na superfície radial, finos (menor que 100 µm de largura), baixos (menor do que 1 mm de altura) e pouco frequentes (de 5 a 10 raios por mm) (Coradin et al., 2010).

Estruturas estratificadas: ausentes. Estruturas secretoras: não observadas. Variantes cambiais: não observadas. Testes químicos e físicos: teste de cromazurol positivo; teste de fluorescência negativo; densidade básica menor que 0,50 g/cm³ (Coradin et al., 2010).

Handroanthus incanus (A.H. Gentry) S.O. Grose (**Ipê**)

O gênero *Handroanthus* pertence à família da Bignoniaceae, com ocorrência de 23 espécies no Brasil (SiBBR, 2021). A espécie *H. incanus* tem distribuição geográfica no país na região norte, com ocorrência confirmada nos estados do Amazonas, Pará e Rondônia. Domínio fitogeográfico da Amazônia, crescendo em vegetação do tipo: Campinarana, Floresta de Terra Firme e Floresta Ombrófila (Flora do Brasil, 2020).

Dados sobre comercialização: não incluída na lista das 100 espécies nativas mais comercializadas no Brasil em 2008 e em 2009 (Coradin et al., 2010). A espécie *Handroanthus serratifolius*, mesmo gênero do *H. incanus*, consta entre as 25 espécies nativas mais comercializadas do Brasil no período de 2012 a 2017, sendo considerada atualmente com uma das madeiras mais nobres do país, com alto valor no mercado nacional e internacional, sendo muito comercializada para exportação (IBAMA, 2019). Não incluída na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Não incluída nos anexos da CITES.

Usos: cruzeta, dormente, escultura, esquadria (janela, porta maciça, caixilho, portal, escada, alizar e rodapé), estrutura de cobertura (viga, caibro e ripa), piso residencial (tábua corrida e taco), piso industrial interno e piso externo (deque e passarela), pilar, viga e tabuleiro ou estrado de ponte, estaca

marítima, poste para energia, estaca e esticador de cerca, revestimento em geral (parede interna e externa), sauna, telha de madeira e torneado (Melo e Camargos, 2016).

Características gerais: cerne/alburno distintos pela cor. Cerne oliváceo ou amarronzado, sem alteração de cor por foto-oxidação. Limites dos anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas tangencias mais escuras. Madeira com brilho nas superfícies longitudinais, com cheiro perceptível: agradável ou característico. Dura ao corte transversal manual, grã entrecruzada ou reversa, textura média. Figura presente, em faixas causadas pelo ângulo de corte ou pela grã (Coradin et al., 2010).

Vasos/poros: presentes, visíveis apenas com lente de 10x, diâmetro pequeno (menores que 100 μm), de distribuição difusa. Frequência alta (mais de 30 vasos por mm^2), predominantemente solitários (mais que 2/3), dispostos em padrão não definido, de formato circular a oval. Placas de perfuração não observadas mesmo com lente de 10x. Maioria dos vasos obstruídos por substância de cor amarelada (Figura 6) (Coradin et al., 2010).

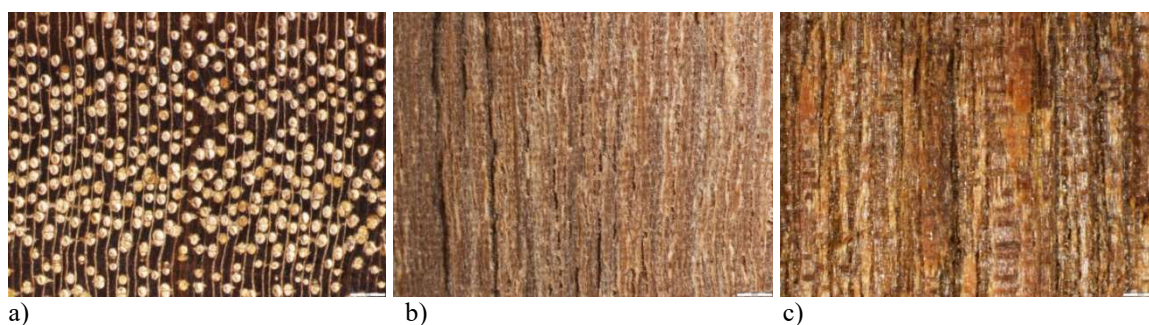


Figura 6. Fotomicrografias da espécie *Handroanthus incanus* (ipê) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF).

Parênquima axial: observado apenas com auxílio de lente de 10x. Tipo paratraqueal, paratraqueal vasicêntrico, ou confluyente em trechos curtos oblíquos. Raios: observados apenas com lente de 10x nas duas superfícies, pouco contrastados na superfície radial, finos (menor que 100 μm de largura), baixos (menor do que 1 mm de altura), pouco frequentes (de 5 a 10 raios por mm) (Coradin et al., 2010).

Estruturas estratificadas: presentes, irregulares com quatro listras por mm axial. Estruturas secretoras: não observadas. Variantes cambiais: não observadas. Testes químicos e físicos: teste de cromazurol negativo; teste de fluorescência negativo; densidade básica maior que 0,72 g/cm^3 . Outras observações: as espécies deste gênero são de difícil distinção, tendo um grande volume de madeira comercializado apenas em nível genérico (Coradin et al., 2010).

Martiodendron elatum (Ducke) Gleason (**Tamarindo**)

O gênero *Martiodendron* pertence à família Fabaceae com ocorrências de cinco espécies no Brasil (SIBBr, 2021). A espécie *M. elatum* tem árvores grandes com 30 a 45 metros de altura, até 80 cm de diâmetro, com ou sem sapopemas de até três metros de altura. A espécie é endêmica da bacia amazônica, ocorrendo no sul da Venezuela, leste do Peru, norte da Bolívia e Brasil, neste último ocorrendo no Acre, sul, sudeste, oeste e noroeste do Amazonas, Rondônia, Mato Grosso e sudoeste do Pará. Domínio fitogeográfico da Amazônia, crescendo em vegetação do tipo: Floresta de Igapó, Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila (Flora do Brasil, 2020).

Dados sobre comercialização: incluída na lista das 100 espécies nativas mais comercializadas no Brasil em 2008 e em 2009 (Coradin et al., 2010). Espécies do gênero *Martiodendron* não constam na lista das 25 espécies nativas do Brasil mais comercializadas no período de 2010 a 2017 (IBAMA, 2019). Não incluída na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Não incluída nos anexos da CITES.

Usos: construção civil (vigas, caibros, sarrafos, marcos de porta e janelas, guarnições, forros e pisos), deques, móveis e outros (SFB, 2014).

Características gerais: cerne/alburno distintos pela cor. Cerne avermelhado, sem alteração de cor por foto-oxidação. Limites dos anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas tangencias mais escuras. Madeira sem brilho nas superfícies longitudinais, com cheiro perceptível e agradável. Dura ao corte transversal manual, grã entrecruzada ou revessa, textura grossa. Figura presente, causada por faixas longitudinais devido ao parênquima axial (Coradin et al., 2010).

Vasos/poros: presentes, visíveis a olho nu com diâmetro médio (de 100 a 200 μ m), distribuição difusa, frequência média (de 6 a 30 vasos por mm²), predominantemente solitários (mais que 2/3), dispostos em padrão não definido, de formato circular a oval. Placas de perfuração não observadas mesmo com lente de 10x. Maioria dos vasos obstruídos por tilos (Coradin et al., 2010).

Parênquima axial: observado a olho nu. Tipo paratraqueal, ou em faixas, paratraqueal aliforme losangular, ou confluyente em trechos longos tendendo a formar faixas, em faixas marginais ou simulando faixas marginais. Raios: observados apenas com lente de 10x nas duas superfícies, pouco contrastados na superfície radial, finos (menor que 100 μ m de largura), baixos (menor do que 1 mm de altura) e pouco frequentes (de 5 a 10 raios por mm) (Figura 7) (Coradin et al., 2010).

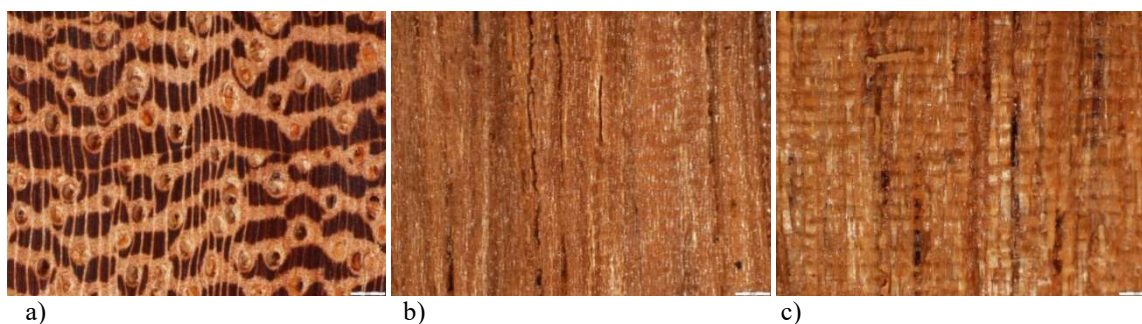


Figura 7. Fotomacrografias da espécie *Martiodendron elatum* (tamarindo) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). (Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF)).

Estruturas estratificadas: presentes, regulares com duas listras por mm, sentido axial. Estruturas secretoras: não observadas. Variantes cambiais: não observadas. Testes químicos e físicos: teste de cromazurol negativo; teste de fluorescência negativo; densidade básica maior que $0,72 \text{ g/cm}^3$ (Coradin et al., 2010).

Peltogyne lecointei Ducke (**Roxinho**)

O gênero *Peltogyne* pertence à família Fabaceae, com ocorrência de 23 espécies no Brasil (Flora do Brasil, 2020). A espécie *P. lecointei* é endêmica do Brasil, com distribuição geográfica no país na região norte, com ocorrência confirmada no estado do Pará. Domínio fitogeográfico da Amazônia, crescendo em vegetação do tipo: Floresta de Terra Firme e Floresta Ombrófila (Flora do Brasil, 2020).

Nenhuma espécie do gênero *Peltogyne* consta entre as espécies nativas mais comercializadas entre 2012 a 2017 (IBAMA, 2019). A espécie *P. lecointei* foi a única espécie, das sete selecionadas para este estudo, que não consta na relação das espécies descritas por Coradin et al., 2010. Seus caracteres gerais e anatômicos, aqui apresentados, foram retirados dos arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do LPF. Não incluída na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Não incluída nos anexos da CITES.

Não encontrados referências aos seus usos específicos, podendo ser utilizada para usos similares a outras espécies do mesmo gênero. Usos encontrados para espécie *Peltogyne paniculata*: cruzeta, dormente, escultura, esquadria (janela, porta maciça, caixilho, portal, escada, alisar e rodapé), estrutura de cobertura (viga, caibro, ripa), piso residencial (tábua, corrida e taco), piso industrial interno e externo (deque e passarela) viga e tabuleiro ou estrado de ponte, estaca marítima, poste de energia, estaca e esticador de cerca, revestimento em geral (parede interna e parede externa), sauna, telha de madeira e torneado (Melo & Camargos, 2016).

Características gerais: cerne e albúrnio distintos pela cor. Cerne arroxeadado com limites de anéis de crescimento distintos e demarcados por zonas fibrosas tangenciais mais escuras e eventualmente por parênquima marginal. Madeira com pouco brilho nas superfícies longitudinais e com odor perceptível característico. Resistência dura ao corte transversal manual, grã entrecruzada ou revessa, textura fina. Presença de figuras causadas por limites dos anéis de crescimento em forma de “V” ou “U” ou pelo destaque de linhas vasculares.

Vasos/Poros: presentes com diâmetro médio (de 100 a 200 μm); porosidade difusa; moderadamente numerosos (de 6 a 20 vasos por mm^2), predominantemente solitários, dispostos em padrão não definido, de formato circular a oval. Maioria dos vasos obstruídos (mais que 60%), por substância de cor esbranquiçada (Figura 8).

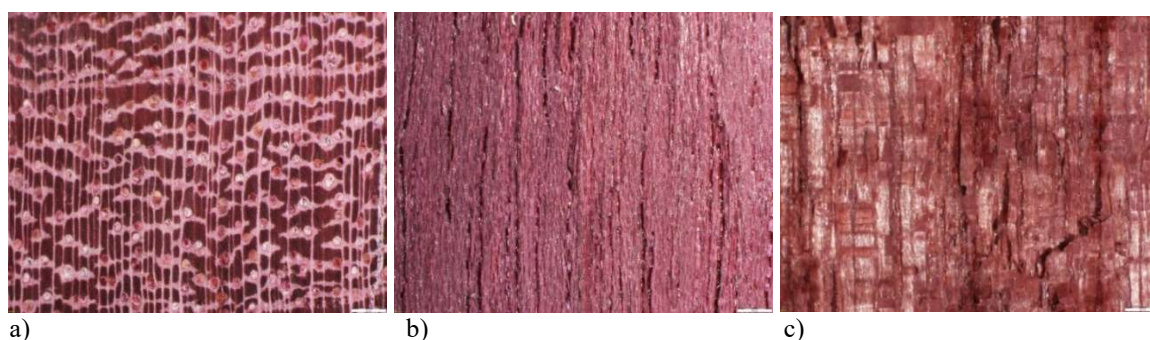


Figura 8. Fotomacrorgrafias da espécie *Peltogyne lecointei* (roxinho) nos três sentidos de corte da madeira: a) seção transversal (aumento 20x); b) seção tangencial (aumento 10x); c) seção radial (aumento 10x). (Fotos: Arquivos da Área de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais (LPF)).

Parênquima axial: visível. Paratraqueal do tipo aliforme curto ou longo, confluyente em trechos curtos oblíquos ou em trechos longos tendendo a formar faixas, ou unilateral. Pode ocorrer parênquima em faixas marginais ou simulando faixas marginais. Raios: visíveis nas superfícies transversal e tangencial, não contrastados ou pouco contrastados na superfície radial, finos (menor que 100 μm de largura), baixos (menores que 1mm de altura) e pouco frequentes (de 5 a 10 raios por mm).

Estruturas estratificadas: ausentes, podendo ocorrer estratificação irregular. Estrutura secretoras: canais intercelulares observados, de orientação axial, de origem regular, dispostos em linhas tangenciais longas. Variantes cambiais: não observadas. Testes químicos e físicos: teste de cromazurol negativo; densidade básica maior que 0,72 g/cm^3 .

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta das Espécies

As árvores foram coletadas em julho de 2017 na Floresta Nacional de Jacundá, no estado de Rondônia, em um projeto de concessão florestal da empresa Madeflona Industrial Madeireira Ltda. (Figura 9). Todas as espécies utilizadas neste estudo são espécies comerciais autorizadas para exploração comercial com diâmetro a altura do peito (DAP) variando entre 40 e 90 cm. A escolha dos indivíduos em campo foi realizada de forma aleatória, coletando-se pelo menos três árvores por espécie. Todas as toras foram marcadas com códigos para sua identificação e rastreabilidade (Figura 10).



Figura 9. Localização da Floresta Nacional de Jacundá, de onde foram coletadas as espécies de madeiras para o estudo, no estado de Rondônia, Brasil. (Fonte: Google maps, 2019).



Figura 10. Toras das árvores coletadas para pesquisa no pátio da serraria da empresa Madeflona Industrial Madeireira Ltda., localizada na Floresta Nacional de Jacundá, Rondônia, Brasil, em 2017, (fotos: Peter Wimmer).

Após a colheita, houve o desdobro das toras, em serraria da própria concessionária, seccionando-as em pranchas com comprimento de três metros e espessura de pelo menos seis centímetros (Figura 11). Também houve a separação de um disco por árvore, mantendo sempre o registro dos respectivos códigos para cada árvore (Figura 12).



Figura 11. Madeiras serradas enfardadas prontas para o transporte no pátio da serraria da empresa Madeflona Industrial Madeireira Ltda., localizada na Floresta Nacional de Jacundá, Rondônia, Brasil, (fotos: Peter Wimmer).



Figura 12. Discos das árvores coletadas das diferentes espécies separados para o transporte no pátio da serraria da empresa Madeflona Industrial Madeireira Ltda., localizada na Floresta Nacional de Jacundá, Rondônia, Brasil, (fotos: Peter Wimmer).

O transporte até o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), localizado em Brasília-DF, ocorreu por via terrestre. A madeira foi movimentada com Autorização Especial e Documento de Origem Florestal Especial (DOF) para o transporte. Também foi solicitada a autorização no Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBio). O

SISBio é um sistema de atendimento à distância do Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio), que permite a pesquisadores solicitarem autorizações para coleta de material biológico e para a realização de pesquisa em unidades de conservação federais e cavernas.

Na chegada ao LPF, as madeiras (Tabela 1) foram armazenadas em galpão para secagem natural pelo período de um ano. Para comprovação da identificação das espécies, foram enviadas exsiccatas de folhas, ramos e inflorescências quando presentes, dos indivíduos coletados ao Museu Paraense Emilio Goeldi e ao Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

Tabela 1. Espécies de madeiras da Amazônia brasileira utilizadas no presente estudo, coletadas na Floresta Nacional de Jacundá, Rondônia, Brasil, em 2017.

Nome Comum	Nome científico
Cedrinho	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.
Cumaru-ferro	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd
Cumaru-rosa	<i>Dipteryx magnifica</i> (Ducke) Ducke
Ipê	<i>Handroanthus incanus</i> (Ducke) Gleason
Jequitibá	<i>Allantoma decandra</i> S.A.Mori, Y.-Y.Huang & Prance
Roxinho	<i>Peltogyne lecointei</i> Ducke
Tamarindo	<i>Martiodendron elatum</i> (Ducke) Gleason

Neste estudo adotou-se para todos os testes realizados o número de três árvores por espécie. A confecção de todos os corpos de prova, específicos para cada teste, assim como todas as análises realizadas neste estudo foram executadas usando as estruturas do LPF em Brasília. Um fluxograma com as metodologias utilizadas neste estudo encontra-se na Figura 23 no final desta seção.

4.2 Propriedades Físicas

As densidades foram calculadas conforme a norma da *American Society for Testing and Materials*, ASTM 2395 (ASTM, 2014). Para o cálculo dos volumes foi utilizada a técnica de deslocamento de líquido, que consiste na imersão do corpo de prova em volume conhecido de água sobre uma balança de precisão, registrando-se a alteração da sua massa (empuxo) e dividindo este pela densidade da água (Figura 13). Foram utilizados 10 corpos de prova por árvore, totalizando 30 corpos de prova por espécie, nas dimensões de 20 mm x 30 mm x 50 mm nos sentidos tangencial, radial e longitudinal, respectivamente.

Foram determinadas as densidades: aparente, seca, verde e básica para todas as espécies. A densidade aparente foi calculada com os corpos de prova climatizados em ambiente controlado de

22°C (± 3°C) e umidade relativa de 65% (± 3%). A densidade verde foi calculada quando os corpos de prova se encontravam em estágio saturado e a densidade seca quando secos em estufa (103°C ± 2°C). Os corpos de prova na condição seca foram banhados em parafina líquida previamente ao registro dos seus volumes, selando os corpos de provas, evitando o ganho de umidade nesse processo. Já a densidade básica foi calculada pela razão entre a massa seca e o volume saturado (Tabela 2).



Figura 13. Obtenção do volume por deslocamento de água utilizado para calcular a densidade dos corpos de prova nos testes físicos.

Tabela 2. Equações utilizadas para o cálculo de cada densidade (aparente, seca, verde e básica) e suas respectivas etapas de onde se retiraram os dados.

Densidades (g/cm ³)	Fórmula	Etapa
Densidade Aparente	$= \frac{\text{massa a 12\%}}{\text{volume a 12\%}}$	Ambiente com controle de temperatura de 22°C (± 3°C) e umidade relativa de 65% (± 3%) até a estabilização da massa.
Densidade Verde	$= \frac{\text{massa saturado}}{\text{volume saturado}}$	Imersos em água, em ambiente controlado, temperatura 20°C (± 5°C), até estabilização dimensional.
Densidade Seca	$= \frac{\text{massa seca}}{\text{volume seco}}$	Secos em estufa (103°C ± 2°C) até atingirem a massa constante.
Densidade Básica	$= \frac{\text{massa seca}}{\text{volume saturado}}$	Massa seca em estufa (103°C ± 2°C) e volume saturado.

A estabilidade dimensional foi determinada através do cálculo das retrações tangencial, radial, longitudinal e da variação volumétrica, conforme a Norma Brasileira Técnica - NBR 7190 (ABNT, 1997) e também pelo coeficiente anisotrópico. As dimensões e quantidades dos corpos de prova foram

as mesmas utilizadas nas medições das densidades. A retração foi calculada nos diferentes sentidos da madeira (longitudinal, radial e tangencial) levando-se em conta a diferença dimensional do estado saturado até o seco a 0% de teor de umidade (Equações 07, 08 e 09).

Eq. 07,

$$\epsilon_r = \frac{L_{sat} - L_{se}}{L_{sat}} \times 100$$

Onde,

ϵ_r = Retração no sentido radial da madeira (%);

L_{sat} = Dimensões na face radial no estado saturado (mm);

L_{sec} = Dimensões na face radial no estado seco (mm);

Eq. 08,

$$\epsilon_t = \frac{L_{sat} - L_{sec}}{L_{sat}} \times 100$$

Onde,

ϵ_t = Retração no sentido tangencial da madeira (%);

L_{sat} = Dimensões na face tangencial no estado saturado (mm);

L_{sec} = Dimensões na face tangencial no estado seco (mm);

Eq. 09,

$$\epsilon_l = \frac{L_{sat} - L_{se}}{L_{sat}} \times 100$$

Onde,

ϵ_l = Retração no sentido longitudinal da madeira (%);

L_{sat} = Dimensões no sentido longitudinal no estado saturado (mm);

L_{sec} = Dimensões no sentido longitudinal no estado seco (mm);

A variação volumétrica foi calculada pela Equação 10. O volume nos estados seco e saturado foi calculado pelo produto das dimensões nos diferentes sentidos da madeira: longitudinal, radial e tangencial. O coeficiente anisotrópico foi calculado pela razão entre as variações no sentido tangencial e radial, Equação 11.

Eq. 10,

$$\Delta V = \frac{V_{sat} - V_{sec}}{V_{sec}} \times 100$$

Onde,

ΔV = Variação Volumétrica (%);

V_{sat} = Volume saturado (mm^3);

V_{sec} = Volume seco (mm^3).

Eq. 11,

$$CA = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_r}$$

Onde,

CA = Coeficiente anisotrópico;

ε_t = Retração no sentido tangencial da madeira (%);

ε_r = Retração no sentido radial da madeira (%);

As medições foram realizadas em três pontos de cada face do corpo de prova: tangencial, radial e longitudinal, que serviram como referência para realizar as medições nas diferentes condições do teor de umidade da madeira (Figura 14). Todas as medições foram realizadas com o uso de um relógio comparador da marca Multitoyo com resolução de 0,01 mm (Figura 15). Já as pesagens foram realizadas com o uso de uma balança eletrônica digital com capacidade de 2100 g e resolução de 0,01 g.



Figura 14. Pontos marcados nos corpos de prova, nas três faces da madeira, utilizados como referência nas medições da estabilidade dimensional em diferentes teores de umidade da madeira.



Figura 15. Medições efetuadas para o cálculo da retratibilidade da madeira com uso de relógio comparador com resolução de 0,01mm, de acordo com a Norma NBR 7190.

Foi necessário reumidificar os corpos de prova para realizar as medições no estado saturado. Os corpos de provas foram saturados, imersos em água em ambiente com controle de temperatura de 20°C ($\pm 5^\circ\text{C}$), até sua estabilização dimensional, tomando-se medições até atingir uma variação menor que 0,02 mm entre duas medições sucessivas (ABNT, 1997).

Para as medições no estado seco, os corpos de prova foram acondicionados em estufa (103°C $\pm 2^\circ\text{C}$) até atingirem a massa constante, com variação menor que 0,5% num intervalo mínimo de 6 horas.

4.3 Teor de Extrativos

Para avaliar o teor de extrativos foi utilizada uma cunha de um disco removido de cada árvore com proporção representativa de cerne e alburno (Figura 16). A obtenção dos cavacos foi realizada através do auxílio de uma plaina desempenadeira, e o material não aplainado foi transformado em palitos, e em seguida foram levados para um moinho de facas. O material resultante foi classificado entre as peneiras menor que 40 mesh e maior igual a 60 mesh.



Figura 16. Cunhas de discos de madeiras de duas espécies, cedrinho e tamarindo, utilizadas no estudo, com porção representativa de cerne e alburno, para caracterizar o teor de extrativos em etanol:tolueno (Fotos: Dhébora Juliana Lino Pires).

Para quantificar o teor de extrativos utilizou-se a mistura etanol:tolueno (1:2) de acordo com o procedimento adotado pela Associação Técnica das Indústrias de Polpas e Papel - TAPPI T 204, (TAPPI, 1998). Foram utilizadas três replicatas por árvore, totalizando nove por espécie.

Para cada replicata, foram pesados cinco gramas do material selecionado nas peneiras e acondicionado em um cartucho extrator de celulose. Três replicatas de dois gramas, de cada amostra, foram pesados separadamente, em pratinhos de alumínio, para avaliar o teor de umidade do material no momento do teste. As pesagens foram realizadas em balança analítica com capacidade de 210 g e resolução de 0,1 mg.

O processo para obtenção do teor de extrativos inicia-se com o aquecimento do balão de fundo chato contendo solução de etanol-tolueno (1:2) acoplado a um extrator Soxhlet (Figura 17). O processo é finalizado após a limpeza total da madeira nesta mistura de solventes, apresentando ausência de coloração no líquido presente no extrator Soxhlet. Após o término, o balão, contendo os extratos isolados e os resíduos dos solventes, foi levado para estufa à 115°C por duas horas para evaporação total dos solventes e pesagem em balança analítica com capacidade de 210 g e resolução de 0,1 mg.



Figura 17. Processo de extração em Etanol-Tolueno (1:2), conforme a norma TAPPI T 204, em extrator Soxhlet para estimar o teor de extrativos das sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

A percentagem do teor de extrativos foi calculada conforme a Equação 12.

Eq. 12,

$$TE = \frac{P_s}{P_e} \times 100$$

Onde:

TE = Teor de extrativos em etanol-tolueno (%);

P_s = Massa seca da amostra (g);

P_e = Massa final do extrato (g);

4.4 Propriedades Acústicas

Para a avaliação das propriedades acústicas, foi utilizada a técnica de excitação por impulso - IET, de acordo com a norma ASTM E1876 (ASTM, 2005). A IET é um método não destrutivo que caracteriza o módulo de elasticidade e o amortecimento de materiais com base na resposta acústica emitida por uma amostra após receber uma leve excitação por impulso. Para a medição, a amostra é atingida com um pequeno projétil e o registro do sinal de vibração induzido é gravado com um microfone (Figura 18).

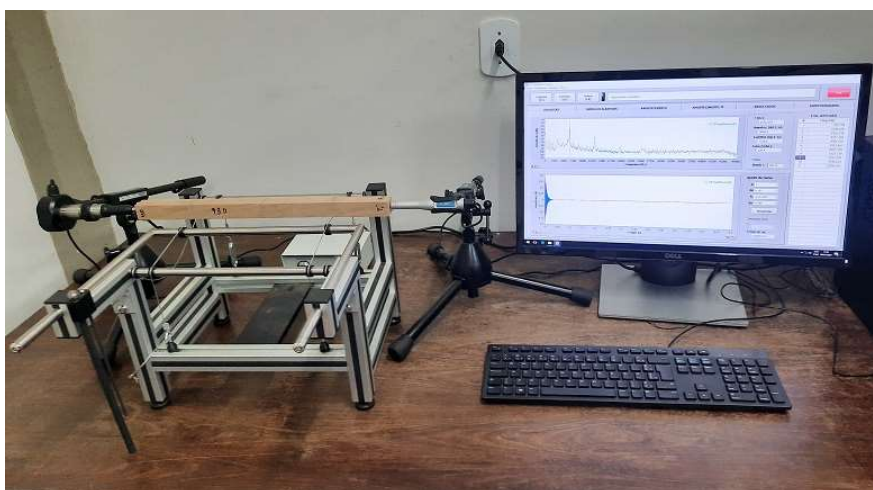


Figura 18. Equipamento Sonelastic utilizado para obtenção das propriedades acústicas das madeiras através da técnica de excitação por impulso (IET).

As dimensões dos corpos de prova utilizados para a IET foram de 25 mm x 25 mm x 410 mm, nas direções tangencial, radial e longitudinal, respectivamente. Os corpos de prova livres de defeitos, foram retirados do cerne da madeira e orientados com distinção das faces radial e tangencial. O número de corpos de prova foi de quatro por árvore, totalizando 12 corpos de prova por espécie (Figura 19). Os corpos de prova foram mantidos em ambiente controlado, a temperatura de 22°C ($\pm 3^\circ\text{C}$) e umidade relativa de 65% ($\pm 3\%$), até a estabilização de sua massa, em torno de 12% de umidade.



Figura 19. Corpos de prova utilizados para realização dos testes acústicos em equipamentos não destrutivos e no ensaio de flexão estática das sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Foi utilizado o equipamento Sonelastic, fabricado pela empresa ATCP Engenharia Ltda de São Carlos, com suporte SA-BC, onde as amostras são apoiadas em cabos de aço, nas extremidade do corpo de prova, a uma distância de $0,224$ multiplicados pelo seu comprimento, valor correspondente aos pontos nodais. Dependendo da posição da excitação do impulso e da captação dos sinais é possível analisar diferentes modos vibracionais. Neste estudo foram analisados o modo de vibração flexional e longitudinal. No modo de vibração flexional o impacto e a captação dos sinais são realizados no centro dos corpos de prova, em faces opostas, perpendiculares ao seu posicionamento. Já no modo de vibração longitudinal o impulso é gerado em uma das extremidades e a captação feita na extremidade oposta (Figura 20).

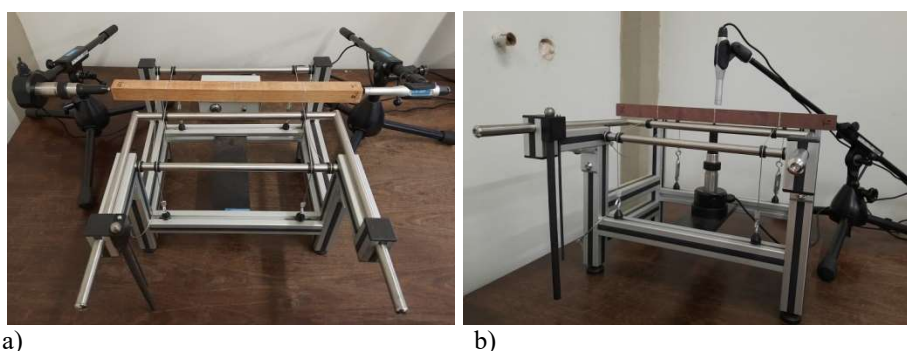


Figura 20. Foto do suporte SA-BC do equipamento Sonelastic com amostras apoiadas nos pontos nodais para realização dos modos vibracionais: a) longitudinal, b) flexional.

Cada corpo de prova foi analisado por meio da média de três excitações. Essas excitações foram realizadas nas duas faces da amostra, radial e tangencial, em ambos os modos vibracionais analisados, flexional e longitudinal.

No programa do equipamento Sonelastic são incluídas as informações dimensionais (comprimento, largura e altura), de formato do corpo de prova e a massa no momento do teste. As dimensões nas faces radial e tangencial foram realizadas pela média de três medições em cada face, com auxílio de um relógio comparador da marca Multitoyo com resolução de $0,01$ mm. Já o comprimento, sentido longitudinal, foi realizado com o uso de régua milimetrada. A massa no momento do teste foi registrada pelo uso de uma balança eletrônica digital com capacidade de 2100 g e resolução de $0,01$ g.

Para ambos os modos vibracionais analisados, o impulso foi gerado por um pulsador automático, que acompanha o equipamento, e o sinal captado por um microfone. O programa do equipamento gera uma análise das frequências naturais de ressonância, registrando a velocidade de propagação sonora, módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) e o amortecimento.

A partir dos dados gerados foi possível analisar as propriedades acústicas, abaixo listadas, para cada espécie de madeira:

- a) velocidade de propagação sonora (c);
- b) frequência fundamental de ressonância (fr);
- c) coeficiente de amortecimento ou fricção interna ($\tan \delta$).

O tempo de aquisição para obtenção dos dados de captura das frequências no programa do equipamento Sonelastic foi de 0,683 segundos com faixa de aquisição de 0,5 a 20 kHz. O coeficiente de Poisson utilizado sugerido pelo fabricante para realização dos testes em madeira foi de $0,25 \pm 0,25$.

A velocidade de propagação sonora também foi calculada em outro equipamento não destrutivo, o Stress Wave Timer, modelo 239A. (Metriguard Inc.), que mede o tempo de propagação de uma onda de tensão ao longo do corpo de prova, por meio de dois transdutores com acelerômetro (Figura 21). Ele calcula o tempo de propagação de um sinal emitido pelo impacto de um pêndulo com uma esfera metálica, de uma extremidade a outra da amostra, no seu sentido longitudinal. A velocidade de propagação sonora pode ser calculada conforme a Equação 13.



Figura 21. Equipamento Stress Wave Timer utilizado para obtenção da velocidade de propagação sonora e módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Eq. 13,

$$c = \frac{L}{t}$$

Onde,

c = velocidade de propagação sonora (m/s);

L = comprimento da amostra (m);

t = tempo de propagação da onda de tensão obtido pelo Stress Wave Timer (s).

Os corpos de prova foram os mesmos utilizados no equipamento Sonelastic. Para cada medição foi considerado a média de três excitações. Para avaliar a diferença entre as faces tangenciais e radiais, foi efetuada quatro medições em cada corpo de prova, girando o corpo de prova após cada medição.

4.5 Propriedades Mecânicas

O módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) na flexão estática foram determinados de acordo com a norma ASTM D 143 pelo método secundário (ASTM, 2000). Os ensaios foram realizados em máquina de teste universal (USM 600), com velocidade constante de 1,3 mm/min e vão livre de 360 mm entre os apoios, usando uma célula de carga de 2000 kgf (Figura 22).



Figura 22. a) Máquina de Ensaio USM 600 utilizada para realização dos ensaios de flexão estática reduzida (ASTM D - 143); b) Detalhe do posicionamento do corpo de prova e da aplicação da carga entre dois apoios.

Os corpos de prova foram os mesmos utilizados para o cálculo das propriedades acústicas (ver ítem 4.4). As dimensões (altura e base) foram determinadas na porção central do corpo de prova, utilizando-se um paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm. A pesagem dos corpos de prova foi realizada antes e após a realização dos ensaios, em balança eletrônica digital com capacidade de 2100 g e resolução de 0,01 g.

O MOE e o MOR na flexão estática foram obtidos a partir das Equações 14 e 15, respectivamente. Para a obtenção do MOE foi traçado uma reta tangente, no gráfico gerado no ensaio

de flexão estática, considerando o ponto onde se observa a queda de carga na curva ascendente, ponto esse próximo à carga de limite proporcional. A partir desse ponto, foram selecionados dois pontos dentro do limite proporcional na reta traçada para servirem de parâmetro de deformação e carga (ΔPLp e Δdf).

Eq. 14,

$$MOE \text{ (GPa)} = \frac{\Delta PLp \times L^3}{4 \times b \times h^3 \times \Delta df} \times 9,80665 \times 10^{-5}$$

Onde,

ΔPLp = Carga no ponto 2 menos Carga no ponto 1 (kgf);

L = comprimento do vão (cm);

b = base do corpo de prova (cm);

h = altura do corpo de prova (cm);

Δdf = Deformação no ponto 2 menos deformação ponto 1 (cm);

Eq. 15,

$$MOR \text{ (MPa)} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2}$$

Onde,

P = carga máxima obtida no ensaio de flexão estática (kgf);

L = comprimento do vão livre (cm);

b = base do corpo de prova (cm);

h = altura do corpo de prova (cm);

O módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) foi obtido usando dois equipamentos diferentes: Sonelastic e o Stress Wave Timer. O programa do equipamento Sonelastic calcula automaticamente o MOEd a partir da seleção da frequência e do tipo do modo vibracional. No presente estudo foram determinados o MOEd no modo de vibração longitudinal e flexional. Já para o equipamento Stress Wave Timer é possível calcular o MOEd conforme a Equação 16.

Eq. 16,

$$MOEd = c^2 \times \frac{\rho(ap)}{100} \times 9,80665 \times 10^{-5}$$

Onde,

MOEd = módulo de elasticidade dinâmico (GPa);

c = velocidade propagação sonora (m/s);

$\rho(ap)$ = densidade aparente (g/cm^3);

4.6 Teor de Umidade da Madeira

Após a realização dos ensaios de flexão estática, os corpos de prova foram secos em estufa ($103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), até a estabilização de sua massa, com variação menor que 0,2%, em um intervalo mínimo de quatro horas entre duas pesagens. O teor de umidade dos corpos de prova foi calculado pela Equação 17.

Eq. 17,

$$\text{Teor de Umidade (\%)} = \frac{\text{mft} - \text{ms}}{\text{ms}} \times 100$$

Onde,

mft (g) = massa do corpo de prova após o ensaio de flexão estática;

ms (g) = massa do corpo de prova seco em estufa;

4.7 Análise Estatística

Para as análises estatísticas, foi utilizado o programa SPSS da IBM, realizando uma análise comparativa entre as diferentes espécies, uma análise de variância (Anova), constatação de outliers, e o teste Tukey ou Duncan entre médias com 5% de significância. A correlação entre as propriedades das madeiras foi realizada pelo programa Excel pelo coeficiente de determinação.

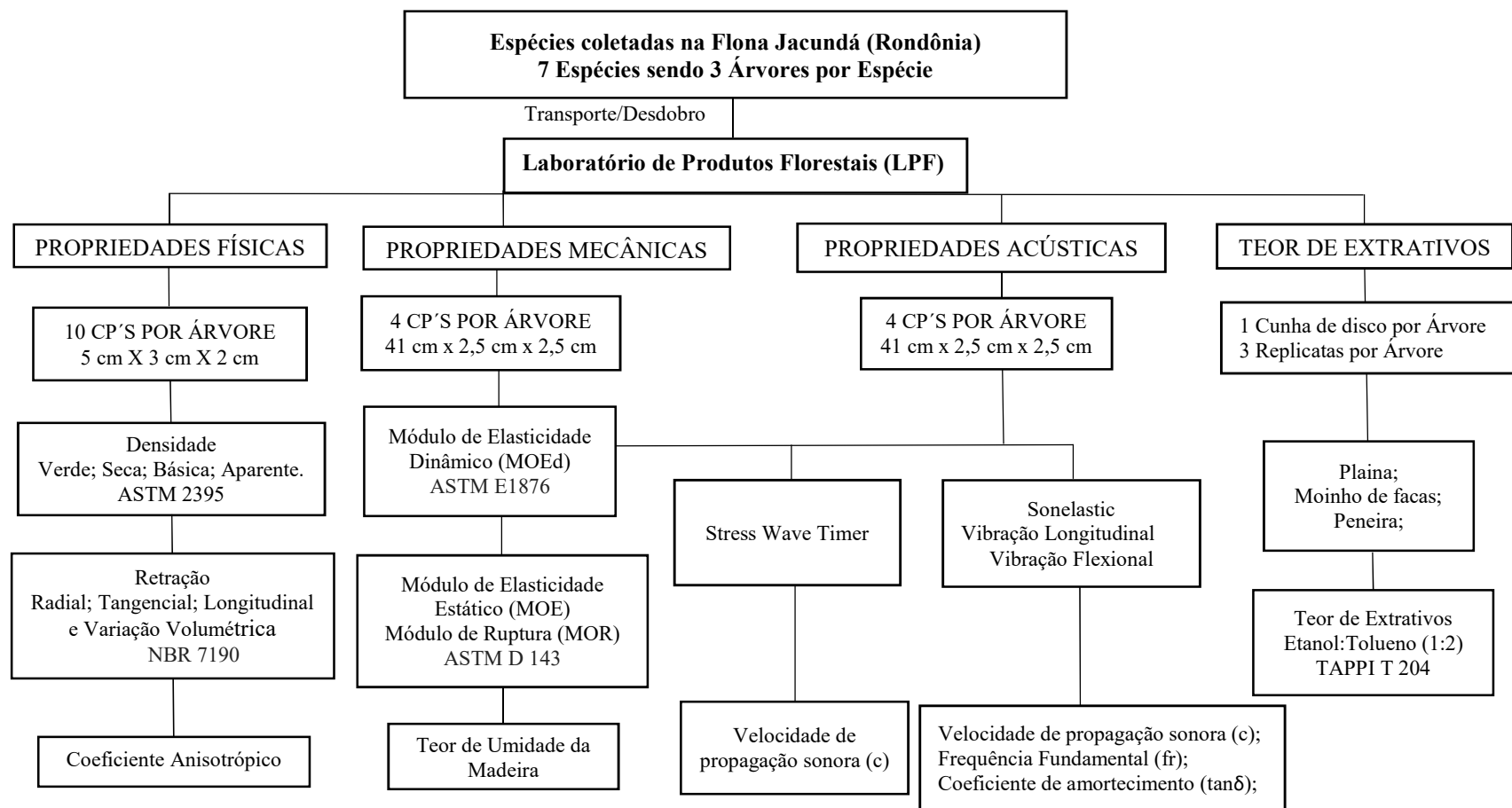


Figura 23. Fluxograma de Materias e Métodos com os diferentes testes realizados neste estudo para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Propriedades Físicas

Os valores médios das densidades para as sete espécies de madeiras estudadas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores da densidade básica, seca, aparente e verde para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira, obtidas pela norma ASTM 2395.

Espécie	Densidade básica		Densidade seca		Densidade aparente		Densidade verde	
		(g/cm ³)		(g/cm ³)		(g/cm ³)		(g/cm ³)
Cedrinho	0,55 *a	** (3,33)	0,64 a	(4,89)	0,69 a	(4,49)	1,08 a	(7,94)
Jequitibá	0,56 a	(5,27)	0,64 a	(6,64)	0,69 a	(5,56)	1,19 b	(0,92)
Cumaru-rosa	0,82 b	(3,77)	0,94 bc	(3,78)	0,99 b	(3,54)	1,20 b	(1,61)
Roxinho	0,85 bc	(2,86)	0,96 cd	(2,70)	1,01 c	(2,95)	1,23 bc	(2,62)
Tamarindo	0,86 c	(11,21)	0,92 b	(2,86)	0,98 b	(2,80)	1,22 bc	(11,67)
Ipê	0,87 c	(3,54)	0,98 d	(2,64)	1,02 c	(2,93)	1,20 bc	(1,62)
Cumaru-ferro	0,91 d	(3,62)	1,05 e	(3,49)	1,09 d	(2,87)	1,25 c	(1,79)

* Letras diferentes na mesma coluna demonstram diferença entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

** Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação em %.

Os resultados demonstraram que houve diferença significativa entre as espécies utilizadas neste estudo para todas as densidades analisadas ($p < 0,05$). As espécies cedrinho e jequitibá foram consideradas como de densidade básica média, valores entre $0,51 \text{ g/cm}^3$ e $0,72 \text{ g/cm}^3$, e as demais espécies como de densidade básica pesada, com valores acima de $0,73 \text{ g/cm}^3$, conforme classificação proposta por Melo et al. (1990).

A densidade básica é um dado importante, pois seu valor não varia com o teor de umidade da madeira e representa uma determinação absoluta da matéria lignocelulósica em um volume unitário de madeira (Traoré et al., 2010). O cumaru-ferro foi a espécie com a maior densidade básica $0,91 \text{ g/cm}^3$, se destacando das demais ($p < 0,05$).

Ao se comparar os dados da densidade básica obtidos neste estudo com os registros do banco de dados do LPF foi constatado que a espécie *E. uncinatum* (cedrinho) apresentou valores para densidade básica ($0,55 \text{ g/cm}^3$) superiores aos registrados pelo LPF para a mesma espécie de duas localidades diferentes ($0,46 \text{ g/cm}^3$ e $0,48 \text{ g/cm}^3$). O mesmo ocorreu para espécie *H. incanus* (ipê) que também apresentou valores superiores ($0,87 \text{ g/cm}^3$) aos registrados pelo LPF ($0,82 \text{ g/cm}^3$). Já para a espécie *D. odorata* (cumaru-ferro) os valores encontrados ($0,91 \text{ g/cm}^3$) ficaram próximos aos registrados no banco de dados do LPF ($0,87 \text{ g/cm}^3$ e $0,91 \text{ g/cm}^3$) (LPF, 2020).

As outras espécies aqui estudadas não possuem registros no banco de dados do LPF. Há registros de *Allantoma lineata* ($0,60 \text{ g/cm}^3$), mesmo gênero do jequitibá (*A. decandra*) e duas espécies do gênero *Peltogyne* ($0,79 \text{ g/cm}^3$ e $0,81 \text{ g/cm}^3$), mesmo gênero do roxinho aqui estudado (*P. lecointei*). Entretanto, para a espécie *Martiodendron elatum* (tamarindo) não há registros nem no nível de gênero para esta espécie.

LOGSDON et al. (2013), estudando as propriedades físico-mecânicas da madeira tamarindo de uma região do estado do Mato Grosso, encontraram valores para densidade básica ($0,79 \text{ g/cm}^3$) inferiores aos encontrados no presente trabalho ($0,86 \text{ g/cm}^3$).

A densidade da madeira pode ser considerada um primeiro critério na seleção das espécies para utilização em diferentes partes de instrumentos musicais (Bucur, 2016). No presente estudo, cedrinho e jequitibá apresentaram valores médios para densidade básica de $0,55 \text{ g/cm}^3$ e $0,56 \text{ g/cm}^3$, respectivamente, ficando no limite entre as madeiras tradicionalmente utilizadas para tampos de violões, violinos e tábua harmônica de piano ($0,35$ a $0,55 \text{ g/cm}^3$), e de laterais e fundos para violinos ($0,54$ a $0,70 \text{ g/cm}^3$) (Wegst, 2006; Ahvenainen, 2019).

As demais espécies foram consideradas de densidade básica pesada, variando entre $0,82 \text{ g/cm}^3$ e $0,91 \text{ g/cm}^3$. Espécies utilizadas para fabricação de instrumentos de sopros, xilofones e arcos de violino possuem como característica o uso de madeiras com densidade alta (Slooten & Souza, 1993; Wegst, 2006; Alves et al. 2008). Madeiras tradicionais utilizadas para lateral e fundo do violão possuem uma densidade variando entre $0,7$ e $1,1 \text{ g/cm}^3$ (Sproßmann et al., 2017).

A densidade aparente depende do teor de umidade da madeira, refletindo o estado atual e específico em que a madeira se encontra, sendo muito importante o registro do teor de umidade da madeira utilizado no cálculo dessa densidade (Logsdon, 1998). Seus valores podem variar entre a densidade seca, limite inferior, e a densidade verde, limite superior. No presente estudo as espécies com densidades médias, cedrinho e jequitibá, apresentaram uma maior amplitude no intervalo entre a densidade seca e a densidade verde quando comparadas às espécies com densidades maiores (Figura 24).

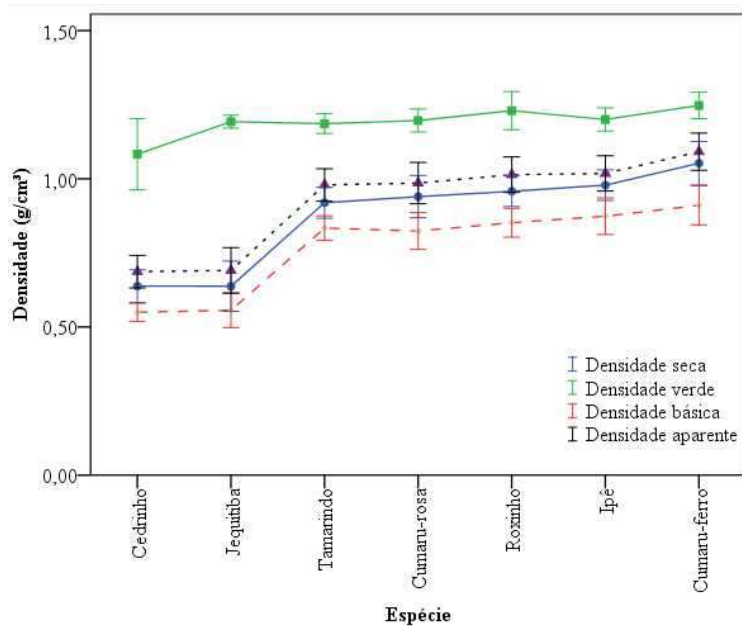


Figura 24. Densidades: verde; aparente; seca; e básica, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie.

O teor de umidade da madeira em sala climatizada utilizado para o cálculo da densidade aparente variou entre 12,19% para o cumaru-ferro a 15,05% para o cedrinho (Figura 25).

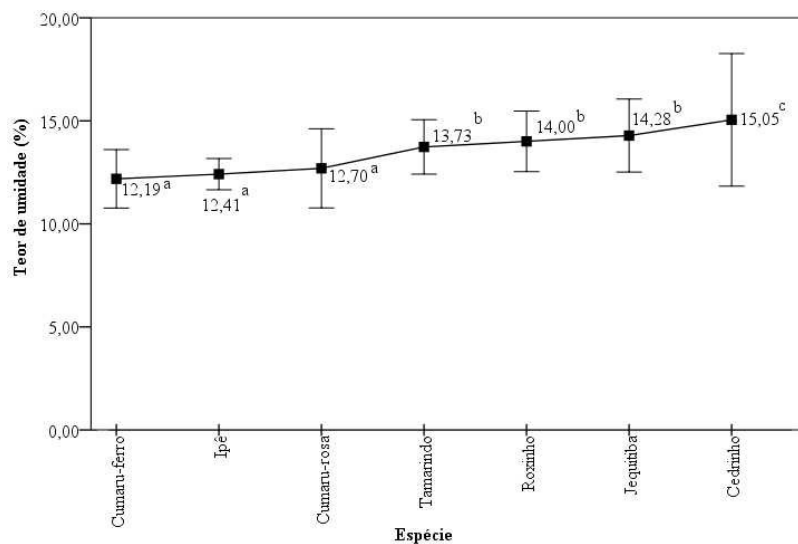


Figura 25. Teor de umidade médio dos corpos de prova em sala com controle de temperatura de 22°C (\pm 3°C) e umidade relativa de 65% (\pm 3%) para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A forma com que a madeira se comporta na troca de umidade com o meio, influenciando na estabilidade dimensional e propriedades mecânicas, é um critério importante no processo de seleção do uso das espécies para instrumentos musicais (Wegst, 2008). A retração e o inchamento da madeira são dois dos mais importantes problemas práticos que ocorrem durante a utilização da madeira, como consequência da variação do teor de umidade (Oliveira & Silva, 2003).

A retração longitudinal ou axial é a que menos sofre alterações dimensionais com a variação do teor de umidade da madeira (Oliveira, et al., 2010). Os valores da retração longitudinal das sete espécies estudadas ficaram abaixo de 0,6%. Houve diferença entre as espécies para retração longitudinal ($p < 5\%$), sendo que o cumaru-ferro foi a espécie com menores valores (0,02%) e o jequitibá com os maiores valores (0,52%) (Figura 26).

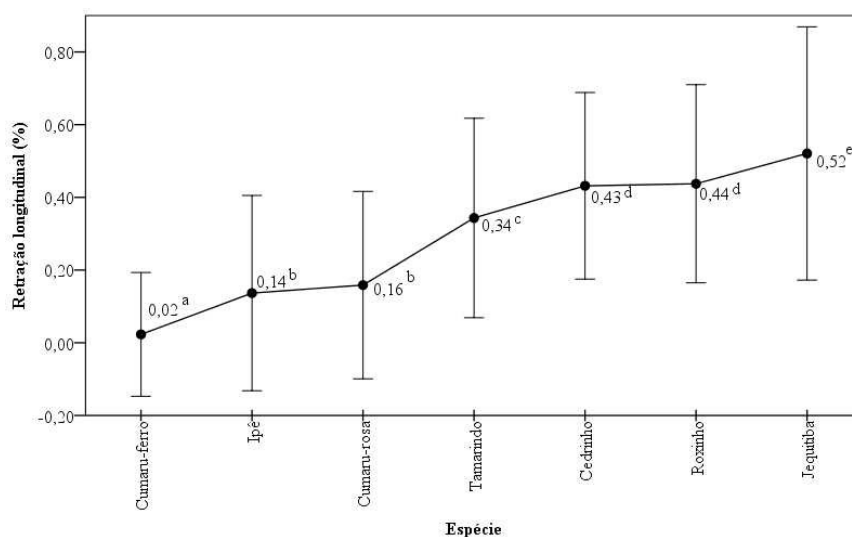


Figura 26. Retração longitudinal para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes representam diferença significativa entre espécies pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Os valores obtidos para retração radial e tangencial e para a variação volumétrica estão apresentados na Tabela 4. Houve diferença significativa entre espécies ($p < 0,05$). A retração tangencial das espécies estudadas variou de 5,64% a 9,29% enquanto a retração radial variou de 3,60% a 5,89%. A retração no sentido tangencial da madeira foi maior que a retração radial para todas as espécies estudadas. (Figura 27).

Tabela 4. Valores médios para retração tangencial, radial e variação volumétrica para as sete espécies de madeira da Amazônia brasileira obtidas pela norma NBR 7190.

Espécie	Retração Tangencial (%)		Retração Radial (%)		Variação Volumétrica (%)	
Cedrinho	9,28 *c	**(19,73)	4,47 c	(14,50)	15,96 cd	(19,42)
Cumaru-ferro	8,69 c	(7,31)	5,89 d	(5,94)	16,42 d	(6,79%)
Cumaru-rosa	7,63 b	(8,60)	5,51 c	(9,06)	14,76 c	(7,69%)
Ipê	5,79 a	(19,87)	5,50 c	(9,94)	12,50 b	(15,45%)
Jequitibá	7,28 b	(11,97)	5,44 c	(8,98)	14,68 c	(11,63%)
Roxinho	6,87 b	(12,42)	4,05 b	(7,47)	12,42 b	(8,17%)
Tamarindo	5,64 a	(6,25)	3,60 a	(13,54)	10,3 a	(7,84%)

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre espécies pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

** Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação em %.

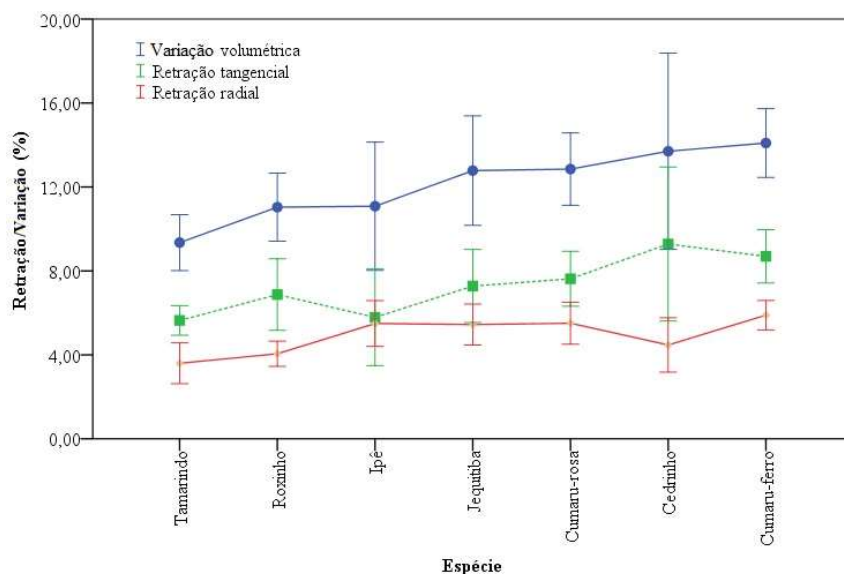


Figura 27. Retrações tangencial e radial, e a variação volumétrica para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie.

Para seleção de madeiras para instrumentos musicais tem-se como consenso entre os fabricantes de violinos e outros instrumentos de cordas a utilização de peças de madeira a partir de cortes radiais, garantindo uma menor variação dimensional no corpo do instrumento, do que se estivessem utilizando cortes tangenciais (Bucur, 2016). A retratibilidade da madeira é um parâmetro importante na apreciação da qualidade e seleção de usos da madeira, sendo sua amplitude um bom indicador da estabilidade dimensional da madeira e dos produtos derivados (Gonzalez et al., 2006).

Segundo a classificação proposta por Durlo e Marchiori (1992) que considera os valores dos coeficientes anisotrópicos, a espécie cedrinho foi a única espécie considerada com estabilidade dimensional ruim, com valor maior que dois. Resultados semelhantes para o coeficiente anisotrópicos foram encontrados para essa espécie no banco de dados do LPF (LPF, 2020). As espécies tamarindo e roxinho foram consideradas como normais, valores entre 1,5 e 2, e as demais espécies foram classificadas como de excelente estabilidade dimensional, com valores menores que 1,5 (Figura 28). Para usos que envolvem a estabilidade dimensional da madeira recomenda-se a utilização de espécies com menores valores para o coeficiente anisotrópico (Oliveira & Silva, 2003).

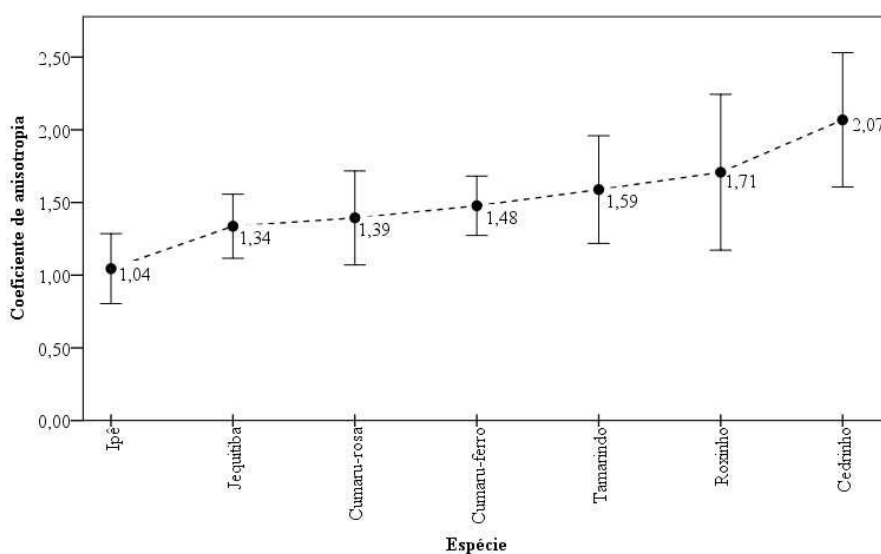


Figura 28. Valores médios do coeficiente anisotrópico das sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie.

O ipê (*Handroanthus incanus*) foi a espécie que atingiu os menores valores para o coeficiente anisotrópico (1,04). RIBEIRO (2017) estudando a retratibilidade da espécie *Handroanthus serratifolius*, também chamada popularmente como ipê, encontrou valor médio de 1,12 para o coeficiente anisotrópico dessa espécie, com valores variando entre 1,02 e 1,25. No Banco de dados do LPF os valores encontrados do coeficiente anisotrópico para *H. incanus* e *H. serratifolius* foram de 1,43 e 1,34 respectivamente (LPF, 2021).

A madeira de tamarindo apesar de ser considerada como normal, pela classificação supracitada, foi a que apresentou os menores valores absolutos nas retrações tangencial e radial. Essa espécie apresentou a menor variação dimensional, considerando

todos os sentidos da madeira, e conseqüentemente a menor variação volumétrica. Valores semelhantes foram encontrados para retração radial, tangencial, variação volumétrica e coeficiente anisotrópico para essa mesma espécie (Logsdon et al., 2013).

5.2 Teor de Extrativos

Os valores obtidos do teor de extrativos apresentados na Figura 29 representam uma média considerando a porção representativa do cerne e albúrne. Entre as sete espécies, os valores variaram de 2,68% para o cedrinho a 11,58% para o roxinho, sendo possível separá-los em três grupos distintos ($p < 0,05$). O primeiro grupo compreendeu as duas espécies com densidades médias (cedrinho e jequitibá), que apresentaram os menores teores de extrativos. O segundo grupo contemplou todas as outras espécies excetuando-se o roxinho, que pode ser separado em um grupo isolado, com o teor mais alto de extrativos.

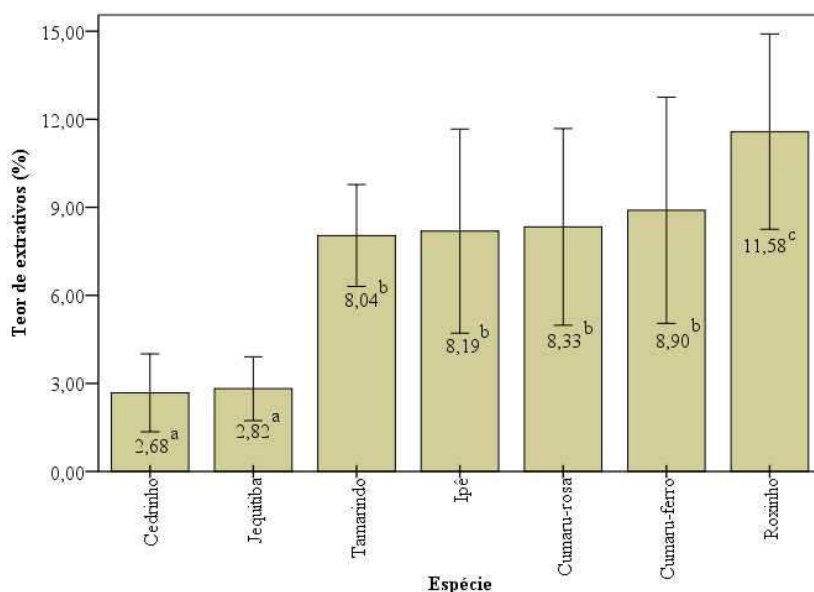


Figura 29. Teor de extrativos em etanol-tolueno realizado conforme a TAPPI T 204 para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os extrativos estão entre as características mais diversificadas da madeira, tanto na sua natureza como na quantidade, podendo apresentar teores menores que 1% em algumas madeiras, sendo que para espécies folhosas tropicais apresentam um valor médio de extrativos totais de 7,6% (Brémaud et al., 2011).

SANTANA & OKINO (2007) estudando a composição química de 36 espécies de madeiras tropicais da Amazônia brasileira, oriundas da Flona de Tapajós, no estado do Pará, avaliaram o teor de extrativos em etanol:tolueno (1:2) encontrando valores variando de 0,6% a 17,3% entre as diferentes espécies. Neste mesmo trabalho os autores encontraram valores para as espécies *D. odorata* (9,7%) e *E. uncinatum* (1,7%) e *Tabebuia incana* syn. *Handroanthus incanus* (9,7%), os quais estão próximos aos encontrados no presente estudo para essas mesmas espécies.

TRAORÉ et al. (2010), estudando as propriedades da espécie *Pterocarpus erinaceus*, muito utilizada para fabricação de xilofones no país africano de Mali, encontraram diferenças significativas do teor de extrativos, módulo de elasticidade e outras propriedades acústicas, ao compararem a procedência da madeira de diferentes áreas geográficas. Segundo os autores, a diferença no teor de extrativos de espécies das diferentes regiões geográficas pode ser explicada pelas condições climáticas de crescimento das árvores, a qualidade do solo e disponibilidade de água.

LONGUI et al. (2012) estudando a composição química de madeiras alternativas para confecção de arcos de violino, incluindo o teor de extrativos, verificaram diferenças significativas no teor de extrativos entre a madeira de pau-brasil e outras espécies que produziram arcos de qualidade, sugerindo que a composição química não pode ser um parâmetro isolado para qualificar madeiras para fabricação de arcos de violino. Neste mesmo estudo os autores classificaram as espécies *Handroanthus* sp. e *Dipterex* sp. com grande potencial para utilização na fabricação de arcos de violino.

A composição química dos extrativos é diferente para cada espécie, por isso se faz necessário estudos qualitativos para verificar a composição química e a quantidade das diferentes substâncias presentes nos extrativos de cada espécie (Sarto & Sansigolo, 2010). A presença dos extrativos na parede celular parece ser uma condição necessária para afetar as propriedades vibracionais da madeira, sendo importante essa análise, caso a caso, dos efeitos dos extrativos e sua localização na madeira (Brémaud et al., 2011).

5.3 Propriedades Mecânicas

Os valores médios do módulo de elasticidade estático (MOE) e o módulo de ruptura (MOR), obtidos pelo ensaio de flexão estática reduzida, estão apresentados nas Figuras 30 e 31.

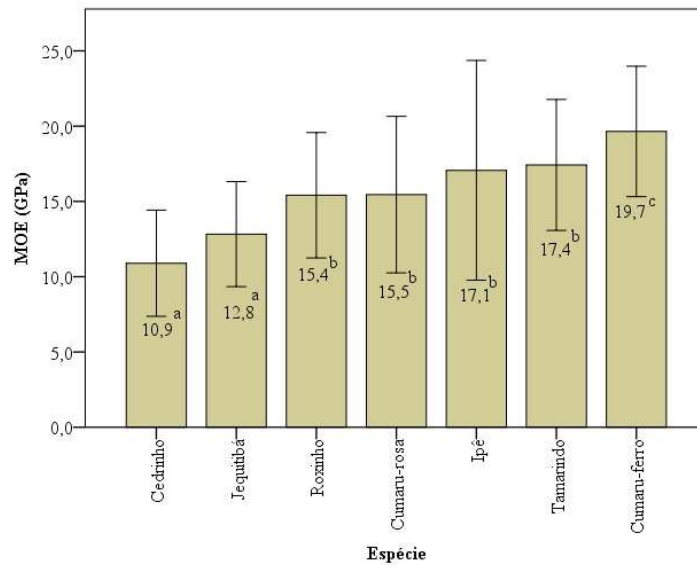


Figura 30. Módulo de elasticidade (MOE) obtido no ensaio de flexão estática reduzida, conforme a norma ASTM D-143, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

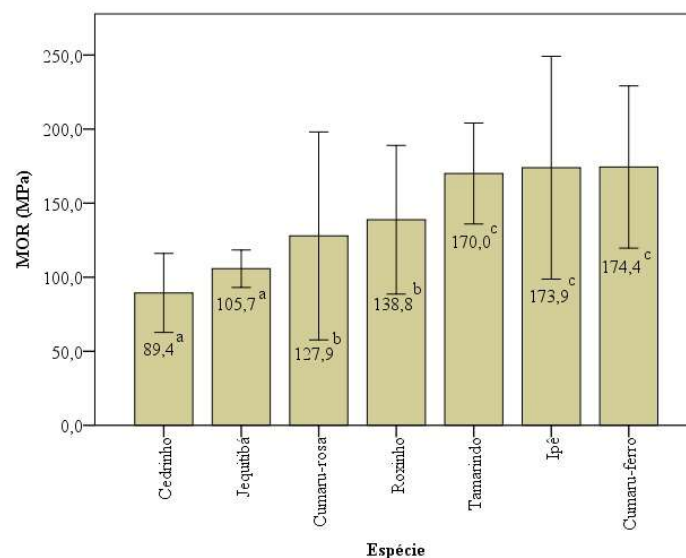


Figura 31. Módulo de ruptura (MOR) obtido no ensaio de flexão estática reduzida, conforme a norma ASTM D-143, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

O cedrinho, seguido pelo jequitibá, foi a espécie com os menores valores para o MOE e MOR e o cumaru-ferro com os maiores valores para ambas as propriedades. Ao se comparar todas as espécies foi possível separá-las em três grupos distintos para os valores de MOE e MOR ($p < 0,05$).

Nos resultados obtidos para essas propriedades mecânicas pode se verificar que as espécies consideradas de densidade média tiveram valores inferiores em relação as espécies de densidade alta. Segundo Melo & Camargos (2016), as propriedades de resistência estão diretamente relacionadas à densidade da madeira, no entanto, espécies com densidades próximas podem ter diferenças, para mais ou para menos, nos valores da resistência.

ALVES et al. (2008), estudando as propriedades da madeira de pau-brasil utilizadas para fabricação de arcos de violinos de diferentes classes de qualidade, constataram que as madeiras consideradas de melhor qualidade foram aquelas com maiores valores para densidade, módulo de elasticidade e módulo de ruptura. Valores altos para o MOR são importantes, pois o arco pode quebrar acidentalmente devido a uma queda ou como resultado de rachaduras internas originadas por repetitivos esforços de tensão (Longui et al., 2010).

WEGST (2008) citando Bork (1985) e Holz (1996), diz que espécies de madeiras tradicionalmente utilizadas para fabricação de xilofones possuem alta densidade, com alto módulo de elasticidade entre 15 e 20 GPa, alto grau de dureza e durabilidade e baixa tendência de rachadura e quebra.

Madeiras tradicionais utilizadas para lateral e fundo do violão possuem uma densidade alta com módulo de elasticidade de 9 a 18 GPa enquanto para escalas de violão os valores para densidade estão entre 1,0 e 1,3 g/cm³ e módulo de elasticidade entre 14 e 26 GPa (Sproßmann et al., 2017).

As espécies de densidades altas, aqui estudadas, apresentaram valores para o MOE entre 15,41 e 19,65 GPa o que indica um bom potencial para uso dessas espécies em xilofones, arcos de violinos e para laterais e fundos de violão.

A obtenção do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) foi realizada pela técnica de excitação por impulso (IET) (modo de vibração flexional e longitudinal) e pelo equipamento Stress Wave Timer. Os valores encontrados do MOEd foram superiores aos valores do MOE estático. O MOEd encontrado no modo de vibração longitudinal foi o que apresentou os maiores valores, seguido pelo modo de vibração flexional e pelo Stress Wave Timer, respectivamente (Figura 32).

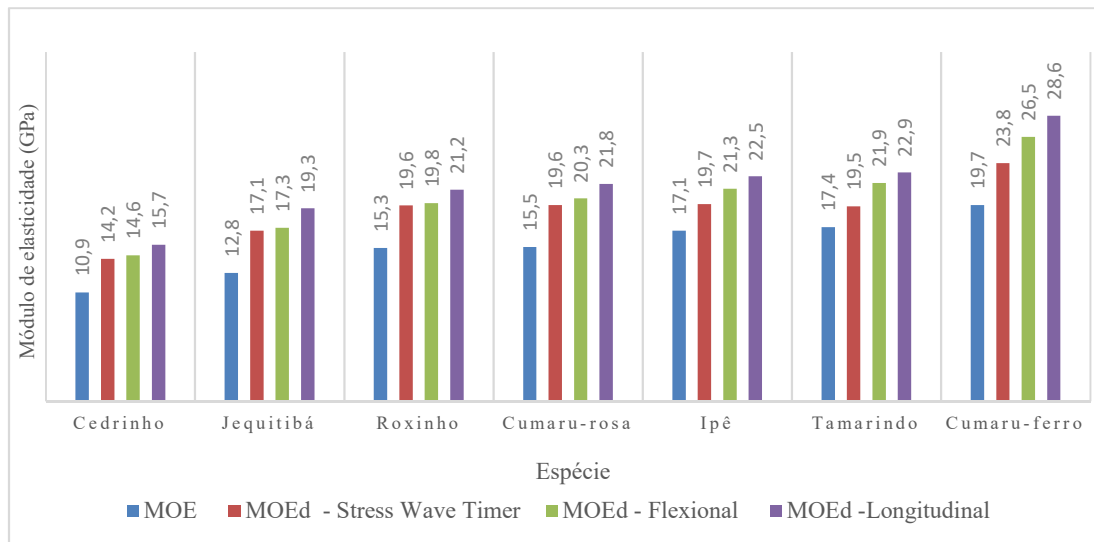


Figura 32. Valores do módulo de elasticidade na flexão estática (MOE) e do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtidos pelo Stress Wave Timer e pela técnica de excitação por impulso: modo de vibração flexional e longitudinal, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Os equipamentos utilizados para avaliações não destrutivas podem apresentar uma superestimação dos valores do módulo de elasticidade (Targa et al., 2005; Medeiros Neto et al., 2016). No presente estudo, considerando o conjunto de dados de todas as sete espécies de madeiras estudadas, o MOEd apresentou valores médios superiores ao MOE estático, de 40,19% para o modo de vibração longitudinal, de 30,55% para o modo de vibração flexional e de 24,39% no equipamento Stress Wave Timer.

A utilização de diferentes métodos e equipamentos não destrutivos para estimar as propriedades mecânicas da madeira tem sido estudada por vários autores, sendo que o comparativo entre os diferentes métodos, demonstrando a eficiência e precisão de cada um, pode ser determinada pelo coeficiente de determinação entre o MOE e MOEd (Del Menezzi et al., 2010; Teles et al., 2011; Ribeiro et al., 2016).

As Figuras 33 a 35 apresentam o coeficiente de determinação (R^2) para os diferentes métodos não destrutivos utilizados comparando-os com os resultados do ensaio de flexão estática.

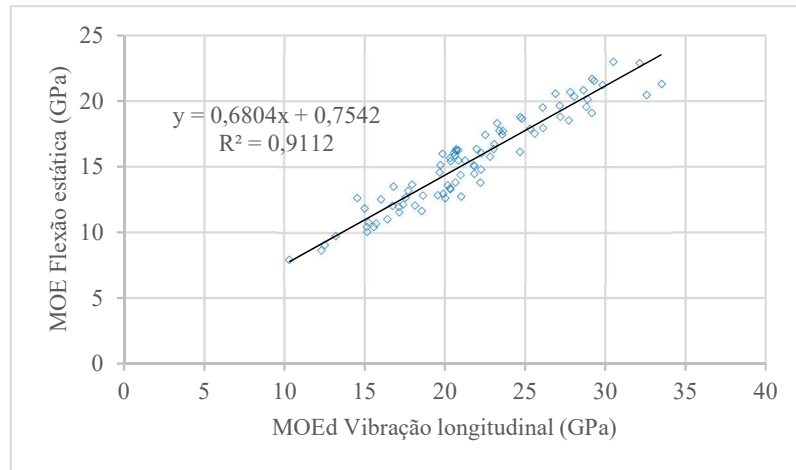


Figura 33. Coeficiente de determinação (R^2) entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtido pela técnica de excitação por impulso no modo de vibração longitudinal com o módulo de elasticidade (MOE) obtido pelo ensaio de flexão estática reduzida.

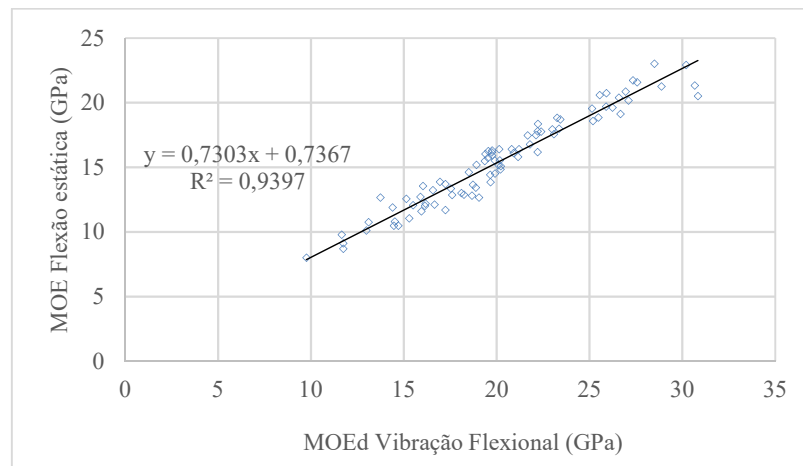


Figura 34. Coeficiente de determinação (R^2) entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtido pela técnica de excitação por impulso no modo de vibração flexional com o módulo de elasticidade (MOE) obtido pelo ensaio de flexão estática reduzida.

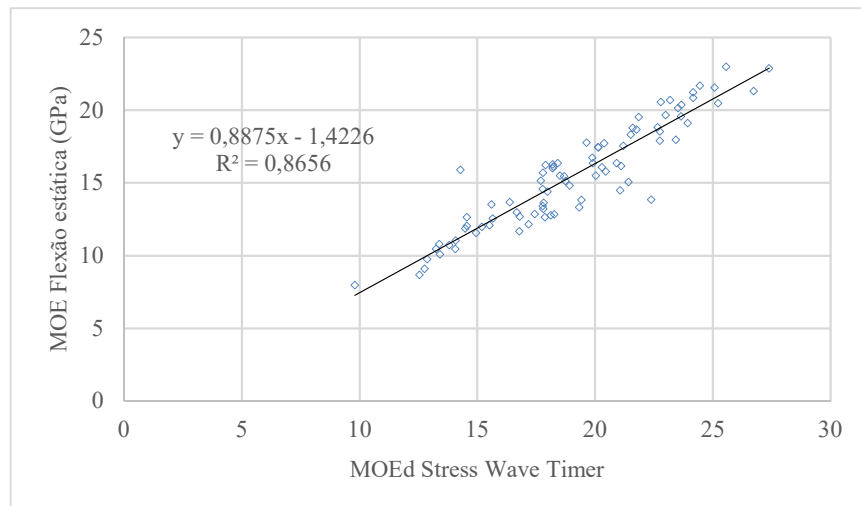


Figura 35. Coeficiente de determinação (R^2) entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtido pelo equipamento Stress Wave Timer com o módulo de elasticidade (MOE) obtido pelo ensaio de flexão estática reduzida.

No presente estudo, o coeficiente de determinação (R^2) comparando o MOEd e MOE na flexão estática, foi maior no modo de vibração flexional (0,94), sendo de 0,91 no modo de vibração longitudinal, e de 0,87 no Stress Wave Timer. Os valores elevados do coeficiente de determinação demonstram que os dados obtidos para o MOEd nas avaliações não destrutivas, podem ser utilizados como uma boa estimativa para obtenção do MOE, explicando de 87% a 94% nos métodos analisados.

CARRASCO et al. (2017), ao estudarem 29 espécies madeireiras brasileiras pela técnica de excitação por impulso (IET) com o equipamento Sonelastic, obtiveram um coeficiente de determinação altamente significativo ($R^2 = 0,97$) do MOEd comparando com o MOE estático. SEGUNDINHO et al. (2012) concluíram que o ensaio de vibração longitudinal pelo IET responde com boa precisão aos ensaios de caracterização dos módulos de elasticidade de vigas de madeira.

MEDEIROS NETO et al. (2016), ao compararem diferentes métodos não destrutivos para obtenção das propriedades mecânicas da madeira, encontraram valores superiores para o MOEd em comparação com MOE (estático). Os autores encontraram valores superiores do MOEd no modo de vibração longitudinal, transversal (flexional), e pelo equipamento Stress Wave Timer, respectivamente, sendo que a melhor correlação entre o MOEd e MOE foi obtida pelo método de vibração transversal, longitudinal e pelo Stress Wave Timer, respectivamente.

5.4 Propriedades Acústicas

Para as análises das propriedades acústicas foi considerado a frequência de ressonância fundamental, sendo aquela com o pico mais alto para cada um dos modos vibracionais analisados: flexional e longitudinal (Figura 36). A partir da seleção da frequência fundamental todas as outras propriedades foram geradas pelo programa e exportadas em planilha Excel. A Figura 37 apresenta o gráfico com o amortecimento para cada frequência captada.

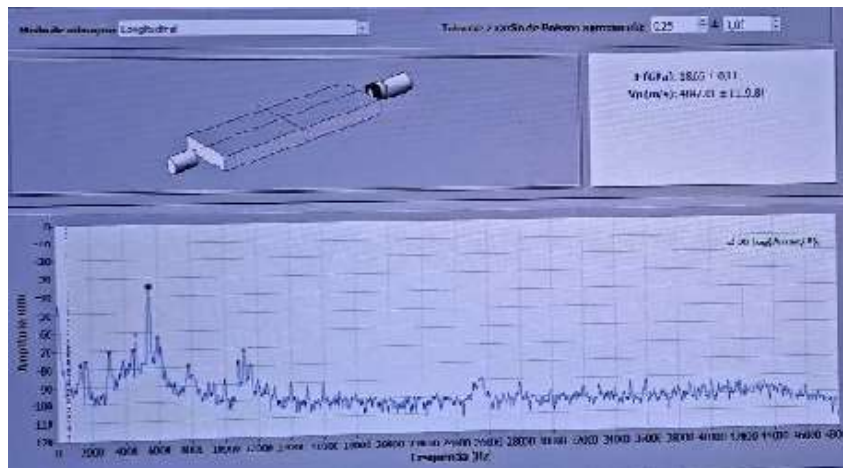


Figura 36. Frequências de ressonância geradas pelo programa Sonelastic após excitação no modo de vibração longitudinal. O pico maior do gráfico é considerado a frequência de ressonância fundamental.

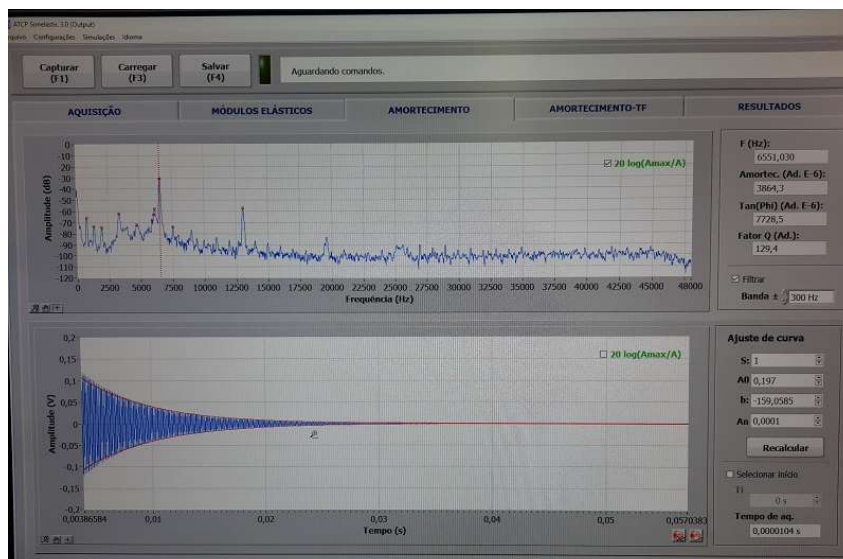


Figura 37. Gráfico gerado pelo programa Sonelastic, demonstrando o decaimento logarítmico da amplitude pelo tempo a partir da seleção da frequência de ressonância fundamental utilizado para calcular o coeficiente de amortecimento.

Analisando os dados da frequência de ressonância fundamental, da velocidade de propagação sonora e do coeficiente de amortecimento, obtidos pela técnica de excitação por impulso (IET), e da velocidade de propagação sonora obtida pelo equipamento Stress Wave Timer, não foi observado diferença significativa ($p > 0,05$) entre os valores ao se comparar as faces radial e tangencial dos corpos de provas. Esse resultado foi verificado para todas as espécies, em todas as propriedades acústicas analisadas, assim como nos dois modos vibracionais testados, flexional e longitudinal. Sendo assim, os dados diferenciando as duas faces da madeira foram agrupados para análise conjunta dos dados.

No modo de vibração flexional a frequência de ressonância fundamental variou de 667 a 760 Hz (Figura 38). Já no modo de vibração longitudinal os valores ficaram entre 5668 e 6411 Hz (Figura 39). O jequitibá foi a espécie com os maiores valores para frequência fundamental e o roxinho com as menores. Isso foi observado nos dois modos vibracionais testados.

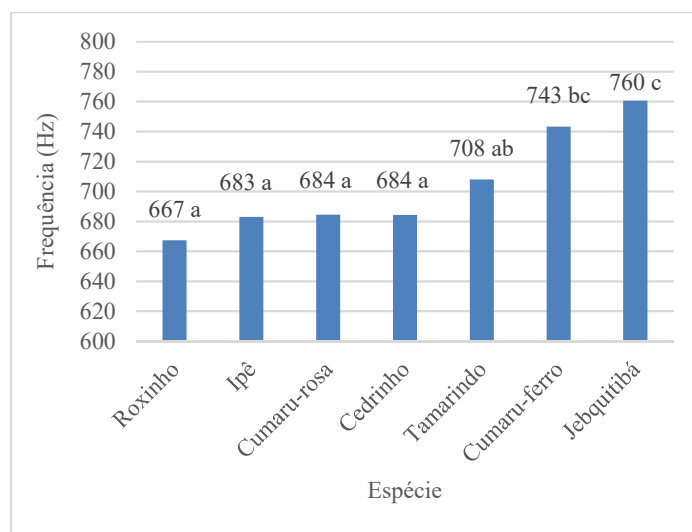


Figura 38. Frequência de ressonância fundamental obtida pela técnica de excitação por impulso no modo de vibração flexional para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

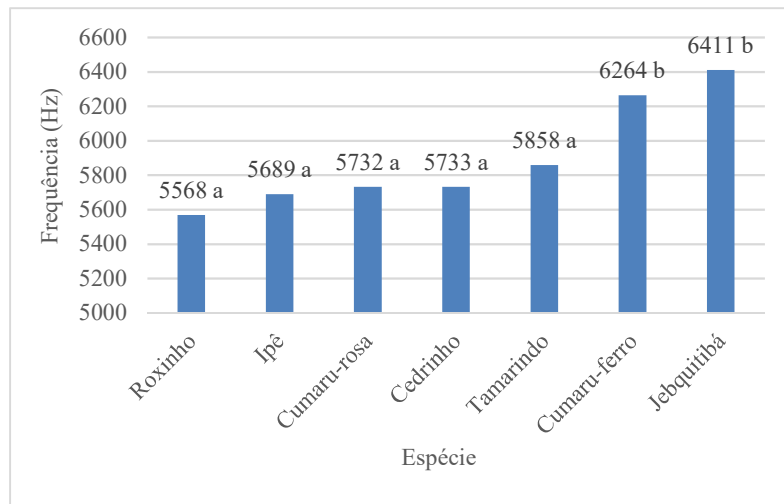


Figura 39. Frequência de ressonância fundamental obtida pela técnica de excitação por impulso no modo de vibração longitudinal para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

BUCUR (2016) estudando a madeira de spruce (*Picea abies*), utilizada para fabricação de tampos de instrumentos de cordas e tábua harmônica de piano, encontrou valores para frequência fundamental variando de 600 a 850 Hz no modo de vibração flexional. BAAR et al. (2013) estudando o comportamento vibracional de espécies tropicais, com diferentes densidades, encontraram valores para frequência de ressonância fundamental no modo de vibração longitudinal variando de 6000 a 9000 Hz.

Mesmo com valores diferentes da frequência de ressonância fundamental entre os dois modos vibracionais, flexional e longitudinal, pode ser observado um coeficiente de determinação altamente significativo ($R^2 = 0,97$) entre as frequências fundamentais ao se comparar os dois modos vibracionais (Figura 40). Esse resultado demonstra que, independentemente do local de excitação da amostra e da captação dos sinais, esses dois modos vibracionais tiveram comportamentos vibracionais parecidos, gerando frequências de ressonâncias correlatas.

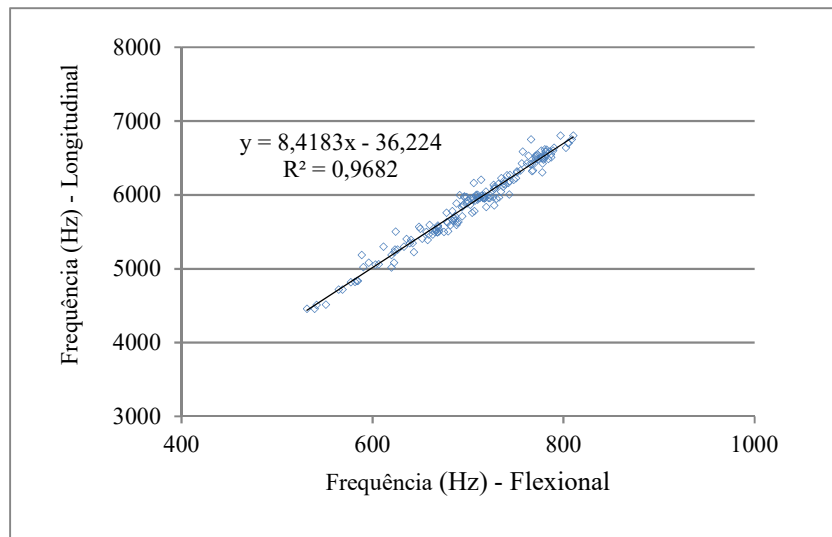


Figura 40. Coeficiente de determinação entre as frequências fundamentais de ressonância obtidas pela técnica de excitação por impulso analisando os dois modos vibracionais: longitudinal e flexional, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

A Tabela 5 apresenta os valores médios para velocidade de propagação sonora obtidas pelos dois modos de vibração analisados pela técnica de excitação por impulso, e pelo equipamento Stress Wave Timer.

Tabela 5. Velocidade de propagação sonora e respectivos coeficientes de variação nos modos de vibração longitudinal e flexional, obtidos pela técnica de excitação por impulso, e pelo equipamento Stress Wave Timer, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	Stress Wave timer		Flexional (m/s)		Longitudinal	
Roxinho	4437 a*	(3,93)**	4837 a	(5,21)	4999 a	(4,81)
Ipê	4425 a	(11,40)	4968 a	(14,09)	5111 a	(14,31)
Cedrinho	4538 ab	(6,89)	4973 a	(9,44)	5150 a	(9,39)
Cumaru-rosa	4564 ab	(3,83)	4974 a	(6,27)	5150 a	(6,26)
Tamarindo	4462 a	(8,76)	5141 ab	(6,73)	5263 a	(7,19)
Cumaru-ferro	4746 b	(4,03)	5413 b	(5,79)	5628 b	(5,12)
Jequitibá	4991 c	(5,66)	5480 b	(4,63)	5762 b	(4,54)

* Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

** Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação em %.

Nos três métodos utilizados, o jequitibá foi a espécie com a maior velocidade de propagação sonora, seguido pelo cumaru-ferro, enquanto o roxinho e o ipê apresentaram os menores valores. Para cada método utilizado, foram observadas diferenças significativas na velocidade de propagação sonora ($p < 0,05$), ao serem comparadas as

espécies entre si. No Stress Wave Timer foi possível separar as espécies em três grupos distintos, enquanto no IET em apenas dois grupos, para ambos os modos vibracionais.

A velocidade de propagação sonora possui uma relação direta com o módulo de elasticidade (Wegst, 2006). Ao se comparar as espécies que apresentaram densidades básicas próximas, como cedrinho e jequitibá (Tabela 3), verificou-se que o jequitibá apresentou os maiores valores para o módulo de elasticidade (Figura 30) e conseqüentemente uma maior velocidade de propagação sonora quando comparado ao cedrinho.

O modo de vibração longitudinal apresentou os maiores valores para velocidade de propagação sonora (4999 a 5762 m/s), seguido pelo modo de vibração flexional (4837 a 5480 m/s) e Stress Wave Timer (4437 a 4991 m/s), respectivamente. O valor da velocidade de propagação sonora variou conforme o equipamento ou modo vibracional analisado (Figura 41). Apesar dos valores diferirem, os modos de vibração longitudinal e flexional apresentaram um elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,98$) (Figura 42).

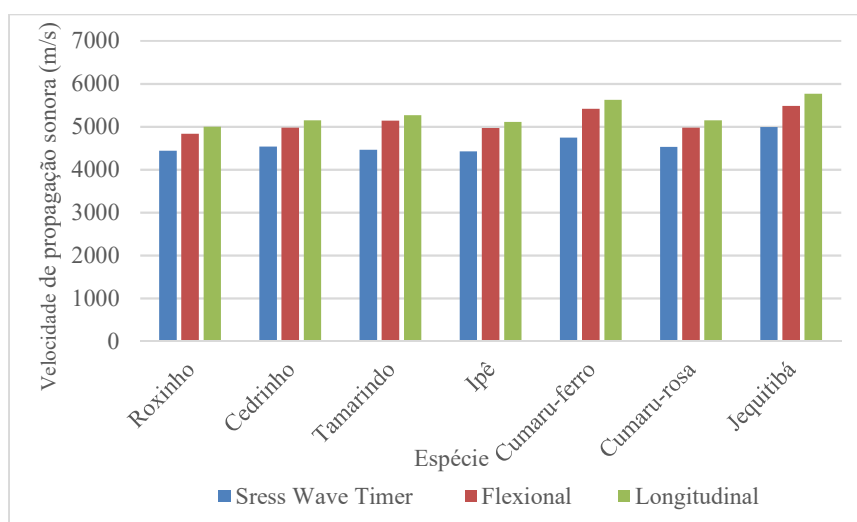


Figura 41. Velocidade de propagação sonora (m/s) obtida pelos modos vibracionais: longitudinal e flexional, pela técnica de excitação por impulso, e pelo equipamento Stress Wave Timer, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

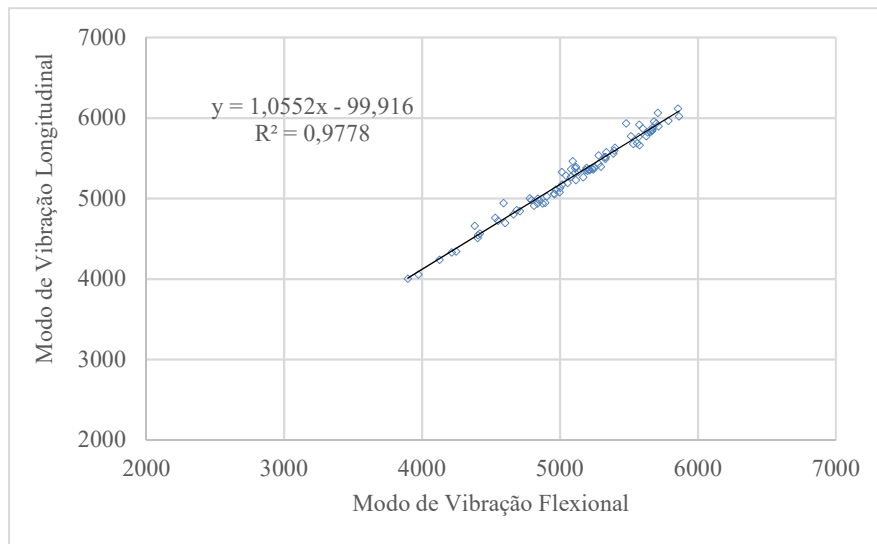


Figura 42. Coeficiente de determinação (R^2) da velocidade de propagação sonora nos dois modos de vibração: longitudinal e flexional analisados pela técnica de excitação por impulso para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Ao se comparar as velocidades de propagação sonora obtidas pelo equipamento Sonelastic e pelo Stress Wave Timer pode-se observar um coeficiente de determinação melhor entre o modo de vibração longitudinal ($R^2 = 0,86$) do que o modo de vibração flexional ($R^2 = 0,80$) (Figuras 43 e 44). Essa melhor correlação pode ser explicada pela forma de excitação e captação do sinal do Stress Wave Timer se assemelhar mais ao modo de vibração longitudinal do que o flexional.

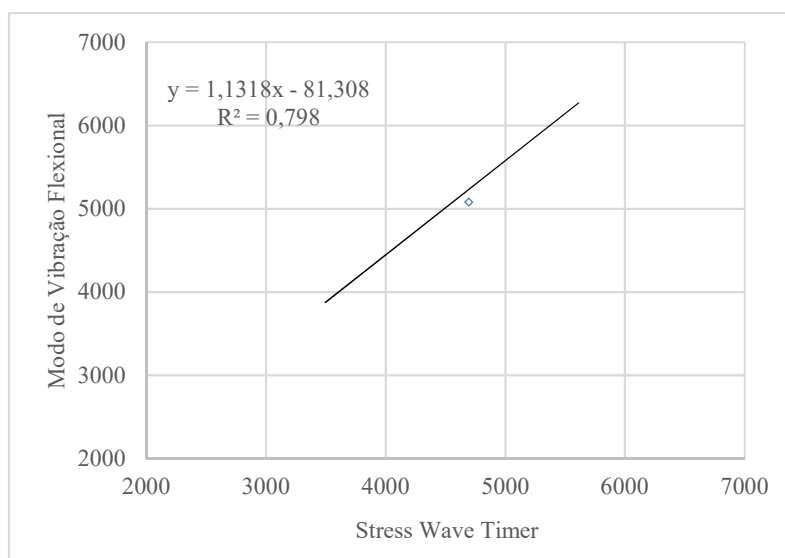


Figura 43. Coeficiente de determinação (R^2) da velocidade de propagação sonora calculado pelo Stress Wave Timer e o modo de vibração flexional, pela técnica de excitação por impulso, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

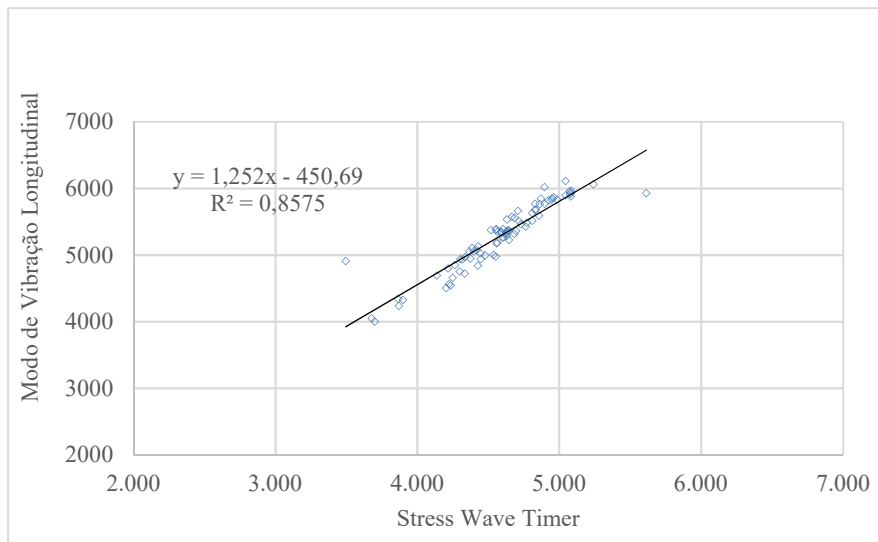


Figura 44. Coeficiente de determinação (R^2) da velocidade de propagação sonora calculado pelo Stress Wave Timer e o modo de vibração longitudinal, pela técnica de excitação por impulso, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

A velocidade de propagação sonora pode ser considerada como uma das propriedades acústicas de maior importância para seleção dos materiais utilizados para fabricação de instrumentos musicais (Wegst, 2006). Madeiras tradicionais utilizadas para tampos de instrumentos de cordas e tábuas harmônicas de piano apresentam velocidade de propagação sonora superiores a 5000 m/s (Bucur, 2016).

ALVES et al. (2008) estudando a madeira de pau-brasil para confecção de arcos de violino, classificando-as qualitativamente, obtiveram resultados para velocidade de propagação sonora variando de 3900 m/s a 5480 m/s. Segundo os autores, os arcos considerados de melhor qualidade apresentaram maiores valores para a velocidade de propagação sonora (5320 a 5480 m/s) quando comparados aos arcos de menor qualidade (3900 a 5060 m/s).

TELES et al. (2018) estudando o potencial de dez espécies de madeiras tropicais da Amazônia brasileira para fabricação de instrumentos musicais, utilizando o equipamento Stress Wave Timer encontraram valores para velocidade de propagação sonora entre 3910 e 4840 m/s.

Estudando as propriedades de espécie alternativas para fabricação de arcos de violino, Longui et al. (2010) encontraram valores próximos para velocidade de propagação sonora da espécie *Handroanthus* spp., quando comparadas ao pau-brasil. Neste mesmo estudo, os autores constataram que o ipê (*Handroanthus* spp.) apresentou propriedades físicas, mecânicas e acústicas similares ou até melhores quando comparadas

ao pau-brasil, e mesmo já sendo utilizadas por alguns solistas de orquestras brasileiras ainda há resistência ao seu uso devido a textura diferente e cor mais amarelada quando comparadas aos arcos tradicionais feitos de pau-brasil.

As Figuras 45 e 46 apresentam os resultados do coeficiente de amortecimento ($\tan \delta$) nos modos de vibração longitudinal e flexional. No modo de vibração flexional, foi possível separar as espécies em três grupos distintos, e no modo de vibração longitudinal em quatro grupos ($p < 0,05$). O roxinho, assim como as espécies com densidade média (cedrinho e jequitibá), apresentou valores mais altos para o coeficiente de amortecimento, enquanto o cumaru-ferro e o tamarindo menores valores. Isso foi verificado nos dois modos de vibração analisados.

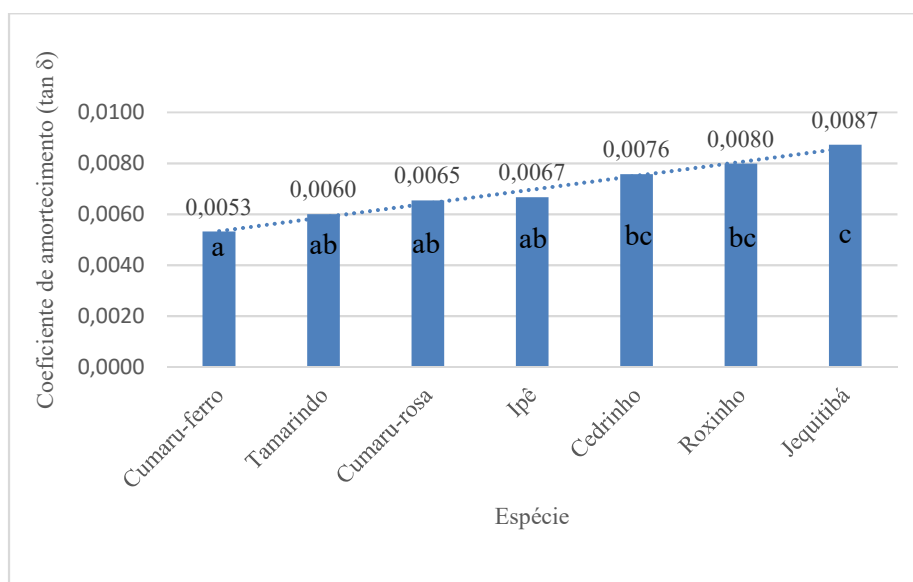


Figura 45. Valores médios para o coeficiente de amortecimento ($\tan \delta$) obtido no modo de vibração flexional para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

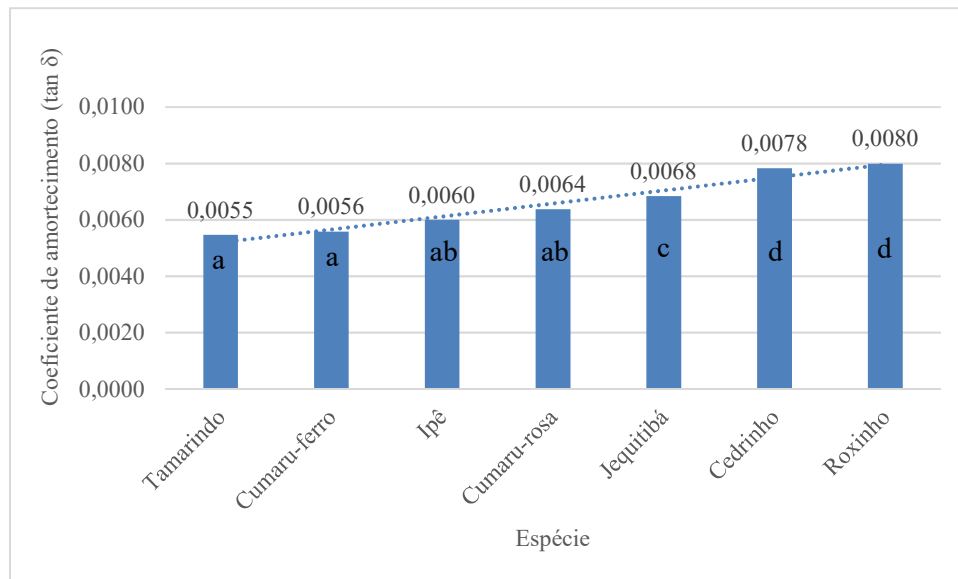


Figura 46. Coeficiente de amortecimento (tan δ) obtido no modo de vibração longitudinal para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os valores da tan δ para sete espécies estudadas variaram de 0,0053 a 0,0087 no modo de vibração flexional e de 0,0055 a 0,008 no modo de vibração longitudinal. BRÉAMAUD et al. (2012) estudando as propriedades vibracionais de 79 espécies, incluindo coníferas e folhosas com distribuição geográfica diversa e densidades variando entre 0,21 e 1,38 g/cm³, encontraram valores para tan δ entre 0,0033 e 0,0206, com um valor médio de 0,0071. Os autores constataram que espécies de folhosas tropicais tiveram predominantemente valores baixos para tan δ enquanto que espécies de folhosas temperadas tiveram valores altos para tan δ .

Para seleção de madeiras para instrumentos musicais é desejável que o coeficiente de amortecimento seja baixo (Bucur, 2016). Madeiras para fabricação de xilofones e arcos de violinos possuem como uma de suas características, o baixo coeficiente de amortecimento (Wegst, 2006).

Espécies tropicais de folhosas, mesmo com uma distribuição ampla, incluem, em sua maioria, um valor baixo para tan δ , sendo que valores extremamente baixos (0,006) são quase exclusivos para esses tipos de madeiras (Brémaud, 2012).

SPROBMANN et al. (2017) estudando as propriedades acústicas das espécies utilizadas na fabricação de violão, compararam a espécie *Cordia dodecandra* em substituição ao jacarandá-indiano (*Dalbergia latifolia*), utilizada em laterais e fundos, e a espécie *Dalbergia melanoxylon* em substituição ao ébano (*Diospyros crassiflora*),

utilizado em escalas, e verificaram que todas essas espécies apresentaram valores relativos baixos para o coeficiente de amortecimento (0,0071 a 0,0098), indicando ser um fator importante na seleção das madeiras para utilização como componentes na fabricação de violões.

BAAR et al. (2016) estudando quatro espécies tropicais de diferentes regiões do mundo, utilizadas para fabricação de diferentes instrumentos musicais, principalmente em xilofones, encontraram valores para o coeficiente de amortecimento entre 0,006 e 0,008. Espécies do gênero *Picea*, utilizadas para tampo harmônico de instrumentos de cordas, mesmo sendo de clima temperado, apresentam coeficiente de amortecimento baixos variando entre 0,006 e 0,0083 (Brémaud, 2012).

Todas as espécies do presente estudo apresentaram valores abaixo de 0,009 para $\tan \delta$, considerando os dois modos de vibrações analisados. As espécies cumaru-ferro, tamarindo, ipê e cumaru-rosa apresentaram valores abaixo de 0,007, o que demonstra ainda mais o potencial dessas espécies para uso em instrumentos musicais. As espécies de regiões de clima temperado dificilmente poderão substituir as madeiras de folhosas de clima tropical, utilizadas para fabricação de algumas partes de instrumentos musicais, pois só estas podem atingir a categoria de valores de densidades alta, MOE altos, e baixos coeficientes de amortecimento (Brémaud, 2012).

5.5 Teor de Umidade e Densidade Aparente

Os ensaios mecânicos e de propriedades acústicas, nos diferentes equipamentos, foram realizados em momentos diferentes, utilizando os mesmos corpos de provas. Primeiro foram realizados os testes não destrutivos e posteriormente o ensaio de flexão estática reduzida, onde os corpos de prova sofreram uma ruptura (MOR). Apesar dos testes terem sido realizados em momentos diferentes, a densidade aparente se manteve a mesma em todos os ensaios (Figura 47).

Os resultados mostram que os corpos de prova acondicionados em sala de climatização com temperatura e umidade controlada mantiveram as suas massas em equilíbrio, sem interferir na densidade aparente das espécies, podendo os resultados dos diferentes equipamentos serem atribuídos a mesma densidade aparente e consequentemente ao mesmo teor de umidade da madeira para cada espécie.

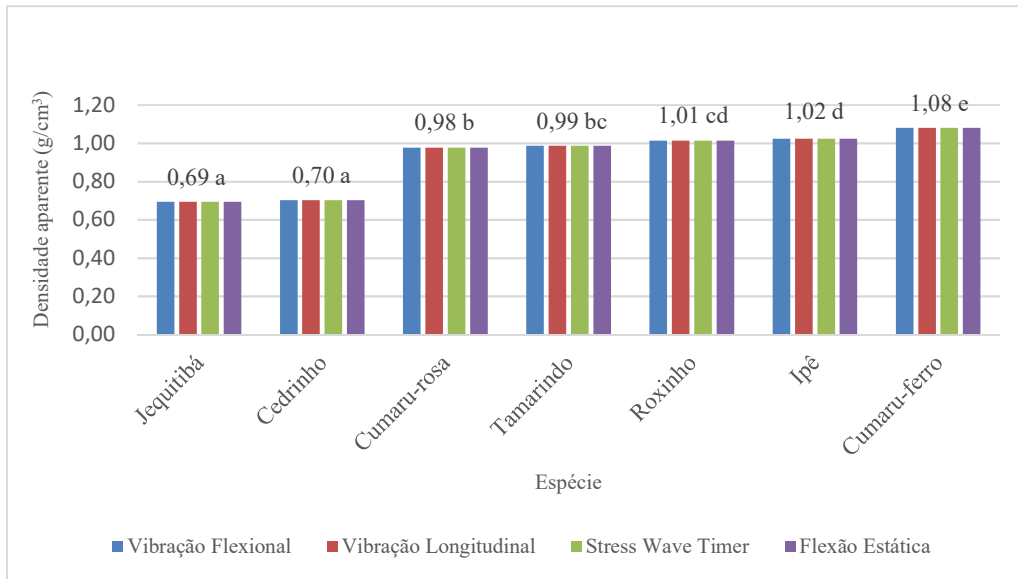


Figura 47. Densidade aparente das sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira obtidas em diferentes momentos. equipamentos não destrutivos e destrutivos, utilizadas para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico e estático e suas propriedades acústicas. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A determinação do teor de umidade dos corpos de provas, realizado após o ensaio de flexão estática reduzida, apresentou resultados diferentes para as espécies estudadas, mesmo quando submetidas as mesmas condições de temperatura e umidade relativa do ar ($p < 0,05$). Seus valores variaram de 9,82%, para o cumaru-ferro, a 13,87%, para o cedrinho (Figura 48).

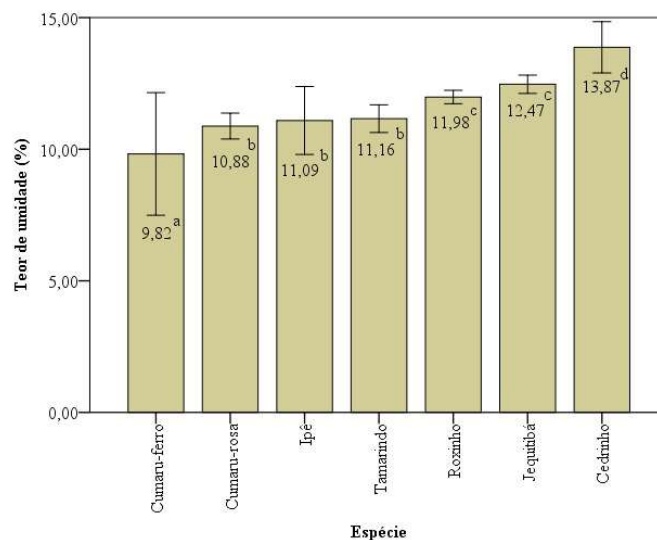


Figura 48. Teor de umidade dos corpos de prova utilizados no ensaio de flexão estática reduzida para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. As barras entre linhas demonstram o desvio padrão quando comparados às médias de cada espécie. Letras diferentes demonstram diferença significativa entre espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

6. CONCLUSÕES

As sete espécies apresentaram estabilidade dimensional de normal a excelente, com exceção do cedrinho que apresentou coeficiente anisotrópico superior a dois, caracterizando-o como de baixa estabilidade dimensional.

A quantidade do teor de extrativos, isoladamente, não se mostrou significativa para caracterização de madeiras para instrumentos musicais, como foi observado para o roxinho, que apresentou o maior teor de extrativos e o maior coeficiente de amortecimento no modo de vibração longitudinal.

O cumaru-rosa e o cumaru-ferro, apesar de pertencentes ao mesmo gênero (*Dipteryx*), apresentaram diferenças significativas para densidade básica, módulo de elasticidade e retratibilidade, demonstrando que a caracterização das propriedades das madeiras deve estar sempre acompanhada do registro da espécie e não somente do gênero.

As análises não destrutivas apresentaram elevados coeficientes de determinação entre o módulo de elasticidade dinâmico e estático; no modo de vibração flexional (0,94) e longitudinal (0,91); bem como para o Stress Wave Timer (0,87), podendo ser indicadas para estimar o módulo de elasticidade estático com eficiência e boa precisão.

As sete espécies de madeiras apresentaram baixos valores de coeficiente de amortecimento ($< 0,009$), nos modos de vibração flexional e longitudinal, indicando potencial para fabricação de instrumentos musicais.

Não foi observada diferença significativa para as propriedades acústicas das sete espécies de madeiras em relação às faces tangencial e radial ($p > 0,05$).

A madeira de tamarindo apresentou resultados próximos ao ipê e ao cumaru-ferro, espécies conhecidas com usos em instrumentos musicais, indicando seu grande potencial para fabricação de instrumentos musicais.

7. RECOMENDAÇÕES

Estudos abrangendo as características macro e microscópicas da madeira e sua influência sobre as propriedades acústicas para utilização em instrumentos musicais.

Estudos mais detalhados, caso a caso, sobre a qualidade dos extrativos nas diferentes espécies de madeiras tropicais brasileiras e sua influência nas propriedades acústicas.

Otimizar as informações geradas no presente estudo para obtenção de outras propriedades acústicas utilizadas na classificação e seleção para uso em instrumentos musicais.

Estudos na aplicação de processos tecnológicos de modificação da madeira através de tratamentos químicos, biológicos ou térmicos, com vistas a otimizar as propriedades da madeira, melhorando suas qualidades acústicas para o uso específico em instrumentos musicais.

Aprimorar a utilização do equipamento Sonelastic com a utilização de filtros, faixa de aquisição, estudo das frequências de ressonâncias, a fim de gerar dados mais precisos para caracterização de madeiras para utilização em instrumentos musicais.

Definir uma metodologia para caracterização das propriedades acústicas de madeiras tropicais brasileiras, propondo a divulgação e publicação dos dados obtidos em banco de dados de madeiras nativas brasileiras.

Fabricação de instrumentos musicais (xilofones, arcos de violino, laterais e fundos de violão e violinos) a partir das espécies aqui estudadas verificando a qualidade sonora dos instrumentos produzidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT -ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: 97. Projeto de estruturas de madeira.** Rio de Janeiro: 1997.

AHVENAINEN, P. Anatomy and mechanical properties of woods used in electric guitar. **IAWA Journal**. Vol.40 (1):106-123. 2019.

ALKADRI, A.; CARLIER, C.; WAHYUDI, I.; GRIL, J.; LANGBOUR, P.; BRÉMAUD, I. Relationships between Anatomical and Vibrational Properties of Wavy Sycamore Maple. **IAWA Journal**. Vol. 39(1):63–86. February. 2018. DOI:[10.1163/22941932-20170185](https://doi.org/10.1163/22941932-20170185).

ALMEIDA, T.H. **Estudo da Estabilidade Dimensional de Madeiras Tropicais Brasileiras.** Dissertação (Mestrado em Ciências Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 99p. 2015.

ALVES, E.S.; LONGUI, E.L.; AMANO, E. Pernambuco Wood (*Caesalpinia echinata*) Used in the Manufacture of Bows for String Instruments. **IAWA Journal**. Vol.29(3):323-335. 2008.

ALVES, R.C. **Determinação das Constantes Elásticas da Madeira Considerando sua Ortotropia.** Tese (doutorado) apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - **ASTM D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.** 94. Reapproved 2000. p.1-31. 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - **ASTM E1876: Standard Test Method for Dynamic Young ' s Modulus , Shear Modulus , and Poisson ' s Ratio by Impulse Excitation of Vibration.** ASTM International. 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - **ASTM D2395:14: Standard Test Method for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials.** Annual Book of ASTM Standards. 2014.

ANGYALOSSY, V.; AMANO, E.; ALVES, E.S. Madeiras utilizadas na fabricação de arcos para instrumentos de corda: aspectos anatômicos. **Acta Botânica Brasileira**. v.19 (4):819-834. 2005.

ARAÚJO, H.J.B. **Agrupamento das Espécies Madeireiras Ocorrentes em Pequenas Áreas sob Manejo Florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto (AC) por Similaridade das Propriedades Físicas e Mecânicas.** Dissertação (Mestrado em Recursos florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba. 168p. 2002.

ARAÚJO, H.J.B. Relações Funcionais entre Propriedades Físicas e Mecânicas de Madeiras Tropicais Brasileiras. **Floresta**. Curitiba-PR. v.37. n.3. set/dez. 2007.

BAAR, J.; TIPPNER, J.; GRYC, V. The relation of fibre length and ray dimensions to sound propagation velocity in wood of selected tropical hardwoods. **IAWA Journal**, Vol.34 (1):49-60. 2013.

BAAR, J.; TIPPNER, J.; GRYC, V. Wood anatomy and acoustic properties of selected tropical hardwoods. **IAWA Journal**, Vol.37 (1):69-83, 2016.

BRANCHERIAU, L.; KOUCHAD, C.; BRÉMAUD, I. Internal Friction Measurement of Tropical Species by Various Acoustic Methods. **Journal of Wood Science**. v.56. p.371-379. 2010.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nos 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111284.htm . Acesso em 03 dez. 2020.

BRAZ, R.L.; OLIVEIRA, J.T.S.; RODRIGUES, B.P.; ARANTE, M. D.C. Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de *Toona ciliata* em Diferentes Idades. **Floresta**. Curitiba-PR. v.43. n.4. p.663-670. out./dez. 2013.

BRÉMAUD, I.; CABROLIER, P.; MINATO, K.; GÉRARD, J.; THIBAUT, B. Vibrational Properties of Tropical Woods with Historical Uses in Musical Instruments. **International Conference on Wood Science for Preservation of Cultural Heritage: Mechanical and Biological Factors**. Braga. Portugal. 2008.

BRÉMAUD, I.; MINATO, K.; LANGBOUR, P.; THIBAUT, B. Physico-chemical Indicators of Inter-Specific Variability in Vibration Damping of Wood. **Annals of Forest Science**. 67. p.707. 2010.

BRÉMAUD, I.; AMUSAN, N.T.; MINATO, K.; GRIL, J.; THIBAUT, B. Effect of Extractives on Vibrational Properties of African Padauk (*Pterocarpus soyauxii* Taub.). **Wood Science and Technology**. v.45 (3):461-472. 2011.

BRÉMAUD, I. Acoustical Properties of Wood in String Instruments Soundboards and Tuned Idiophones: Biological and Cultural Diversity. **Journal of Acoustic Society of America**. v.131 (1). 2012.

BRÉMAUD, I.; EL KAÏM, Y.; GUIBAL, D.; MINATO, K.; THIBAUT, B.; GRILL, J. Characterisation and Categorisation of the Diversity in Viscoelastic Vibrational Properties Between 98 Wood Types. **Annals of Forest Science**, Springer Verlag/EDP Sciences. v.68 (4):681-688. 2012.

BUCUR, V. Acoustics of Wood. **The Thirteen International Congress in Sound Vibration**. ICICSV13. July 2-6. Vienna-Austria. 2006.

BUCUR, V. **Handbook of Materials for String Musical Instruments**. Springer. Melbourne, Austrália. 2016.

CANDIAN, M.; SALES, A. Aplicação das Técnicas Não Destrutivas de Ultra-Som, Vibração Transversal e Ondas de Tensão para Avaliação de Madeira. **Ambiente Construído**. Porto Alegre. v.9. n.4. p.83-98. out./dez. 2009.

CARLIER, C.; BRÉMAUD, I.; GRIL, J. Violin Making "Tonewood": Comparing Makers Empirical Expertise with Wood Structural/Visual and Acoustical Properties. **International Symposium on Musical Acoustics**. ISMA 2014. Le Mans. France. p.325-330. Jul. 2014.

CARLIER, C.; ALKADRI, A.; GRIL, J.; BRÉMAUD, I. Revisiting the Notion of "Resonance Wood" Choice: A Decompartmentalised Approach from Violin-Makers' Opinion and Perception to Characterization of Material Properties' Variability. **Wooden Musical Instruments: Different Forms of Knowledge**: Book of End of WoodMusICK COST Action FP1302. p.119-140. 2018.

CARRASCO, E.V.M.; VARGAS, C.B.; SOUZA, M.F.; MANTILLA, J.N.R. Avaliação das Características Mecânicas da Madeira por meio de Excitação por Impulso. **Revista Matéria**. Suplemento. 2017.

CAVALCANTE, L.C. **Avaliação de Novas Espécies Madeiras na Fabricação de Cajón**. Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Florestal. Universidade de Brasília. Brasília. Agosto. 2006.

CEZARO, J.A.; TREVISAN, R.; BALBINOT, R. Propriedades Físico-Mecânicas da Madeira de *Chrysophyllum marginatum*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v.36 (86):135-143. 2016.

CITES – Convenção sobre Comércio Internacional das Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção. Disponível em: <https://cites.org/eng/disc/species.php>. Acesso em 03 dez. 2020.

CORADIN, V.P.R.; CAMARGO, J.A.A.; PASTORE, T.C.M.; CRISTO, A.G. **Madeiras comerciais do Brasil: Chave Interativa de Identificação Baseada em Caracteres Gerais e Macroscópicos**. Serviço Florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais: Brasília. 2010. CD-ROM. Disponível em: <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/chave-interativa-de-identificacao>.

COSSOLINO, L.C.; PEREIRA, A.H.A. Amortecimento: Classificação e Métodos de Determinação. **Informativo Técnico-Científico ITC04 - Amortecimento/ATCP**. Universidade de São Carlos. 2010.

COSTA, J.A. **Classificação de Madeiras da Amazônia para Composição de Instrumentos Musical de Corda por meio da Técnica de Excitação por Impulso**. Dissertação (Mestrado) apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2017.

CYSNEIROS, V.C.; MENDONÇA JÚNIOR, J.O.; LANZA, T.R.; MORAES, J.C.R.; SAMOR, O.J.M. Espécies Madeireiras da Amazônia: Riqueza, Nomes Populares e suas Peculiaridades. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo. v.38. p.1-14. 2018.

DEL MENEZZI, C.H.S.; SILVEIRA, R.R.; SOUZA, M.R. Estimativa das Propriedades de Flexão Estática de Seis Espécies de Madeiras Amazônicas por meio da Técnica Não-Destrutiva de Ondas de Tensão. **Acta Amazônica**. v. 40 (2). p.325-332. 2010.

DINULICA, F.; ALBU, C.T.; BORZ, S.A.; VASILESCU, M.M.; PETRITAN, I.C. Specific Structural Indexes for Resonance Norway Spruce Wood Used or Violin Manufacturing. **Bio Resources**. v.10 (4). p.7525-7543. 2015.

DUNISCH, O. Frequencies in Vibrating Wood – Does Cell Organization Matter?. **IAWA Journal**. Vol. 40 (1):124–142. 2019.

DURLO, M.A.; MARCHIORI, J.N.C. **Tecnologia da Madeira: Retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC. 33p. Série técnica 10. 1992.

ELEOTÉRIO, J.R.; REICHERT, D.; HORNBURG, K.F.; MENEGUELLI, I. Massa Específica e Retratibilidade de seis Espécies de Eucalipto Cultivada no Litoral de Santa. **Floresta**, Curitiba-PR. v.45. n.2. p.329-336. abr./jun. 2015.

FAGUNDES, P.V. **Utilização de Espécies Madeireiras Amazônicas para Fabricação de Corpos de Gaita Diatônica**. Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Florestal. Universidade de Brasília, Brasília, Fevereiro. 2003.

FARVARDIN, F.; ROOHNIA, M.; LASHGARI, A. The Effect of Extractives on Acoustical Properties of Persian Silk Wood (*Albizia julibrissin*). **Maderas. Ciencia y Tecnología**. 17 (4):749-758. 2015.

FLETCHER, N.H.; ROSSING, T.D. **The Physics of Musical Instruments**. 2nd Edition. Springer. New York. USA. 780p. 2010.

FLORA DO BRASIL 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 05 maio 2021.

FLORES, A.L.L. **Análise de Diferentes Madeiras Brasileiras em Substituição às Espécies Tradicionais no Violão Clássico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2015.

FOELKEL, C.E.B. Extrativos da Madeira. 25p. **In.: Qualidade da Madeira: teoria**. Convênio CENIBRA/UFV. Belo Oriente. 1977.

GOLPAYEGANI, A.; BRÉMAUD, I.; GRILL, J.; THÉVENON, M.F. Effect of Extractions on Dynamic Mechanical Properties of White Mulberry (*Morus alba*). **Journal Wood Science**. v.58. p.153-162. 2012.

GONÇALEZ, J.C. et al. Características Tecnológicas das Madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell Visando ao seu Aproveitamento na Indústria Moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16. n.3. p.329-341. 2006.

HAAG, V. et al. Non-Destructive Investigation of Historical Instruments Based on 3D-Reflected-Light Microscopy and High-Resolution μ -X-ray CT. **Wooden Musical Instruments: Different Forms of Knowledge: Book of End of WoodMusICK COST Action FP1302**. p.143-156. 2018.

HASNÍKOVÁ, H.; KUKLÍK, P. Various non-destructive methods for investigation of timber members from a historical structure. **Wood Research**, v.59. n.3. p.411–420. 2014.

HENRIQUE, L.L. **Acústica Musical**. Fundação Calouste Gulbenkian. 3ª edição. Lisboa. 2009.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Produção Madeireira de Espécies Nativas Brasileiras: 2012 a 2017**. Tiago Luz Farani; Gustavo Bediaga de Oliveira (Organizadores). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Centro Nacional de Informação Ambiental e Editoração. Brasília: Ibama. 376p. 2019.

IPT –INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICOS. **Madeiras Brasileiras para Instrumento de Música**. Relatório Final n. 22770/85. IPT/FUNARTE. Instituto de Pesquisa do Estado de São Paulo. 83p. 1985.

KIRKER, G.T.; BLODGET, A.B.; ARANGO, R.A.; LEBOW, P.K.; CLAUSEN, C.A. The Role of Extractives in Naturally Durable Wood Species. **International Biodeterioration & Biodegradation**.v.82. p.53-58. 2013.

KLOCK, U.; Muñiz, G.I.B.; Hernandez, J.A.; ANDRADE, A.S. **Química da Madeira**. 4ª. Edição revisada. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Curitiba. 81p. 2005.

LIMA, M.T.; BARÁUNA, E.E.P.; CARVALHO, D.M.; MONTEIRO, T.C. Estimativa da Umidade de Equilíbrio da Madeira de *Hymenolobium heterocarpum* Ducke para o Sul de Tocantins. **Caderno Ciências Agrárias**. v.9, n.3. p.01-07, - ISSN 2447-6218. 2017.

LOGSDON, N.B. **Influencia da Umidade nas Propriedades de Resistência e Rigidez da Madeira**, Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 1998.

LOGSDON, N.B.; FINGER, Z.; MENDOZA, Z.M.H. Caracterização Físico-Mecânica da Madeira de Tamarindo, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason. **Multitemas**, Campo Grande-MS. n.44. p.97-119. jul./dez. 2013.

LONGUI, E.L. **Potencial de Madeiras Nativas na Fabricação de Arcos para Instrumentos de Corda**. Tese Doutorado apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo. 144p. 2009.

LONGUI, E.L.; YOJO, T.; LOMBARDI, D.R.; ALVES, E.S. The Potential of Ipê (*Handroanthus spp.*) and Maçaranduba (*Manilkara sp.*) Woods in the Manufacture of Bows for String Instruments. **IAWA Journal**. Vol.31 (2):149-160. 2010.

LONGUI, E.L.; BRÉMAUD, I.; SILVA JÚNIOR, F, G.; LOMBARDI, D.R.; ALVES, E.S. Relationship Among Extractives, Lignin and Holocellulose Contents with Performance Index of Seven Wood Species Used for Bows of String Instruments. **IAWA Journal**. Vol.33 (2):141-149. 2012.

LPF – LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS. Banco de Dados de Madeiras Brasileiras. Disponível em: <http://lpf.florestal.gov.br/pt-br/madeiras-brasileiras/>. Acesso em 03 dez. 2020.

MANIA, P.; SKRODZKA, E. Modal Parameters of Resonant Spruce Wood (*Picea abies* L.) After Thermal Treatment. **Journal of King Saud University – Science**. v.32. p.1152-1156. 2020.

MARQUES, M.H.B. **Agrupamento de 41 Espécies de Madeiras da Amazônia para Secagem Baseado em Características Anatômicas e Físicas**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. Brasília-DF. 125p. 2008.

MARQUES, S.S.; OLIVEIRA, J.T.S.; PAES, J.B.; ALVES, E.S.; SILVA, A.G.; FIEDLER, N.C. Estudo Comparativo da Massa Específica Aparente e Retratibilidade da Madeira de Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata* LAM.) Nativa e de Reflorestamento. **Revista Árvore**. Viçosa-MG. v.36. n.2. p.373-380. 2012.

MARTINELLI, G.; MORAES, M.A. **Livro Vermelho da Flora do Brasil**. 1 ed. Rio de Janeiro: [s.n.]. v.66. 2013.

MATTOS, B.D.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M.; CALEGARI, L.; MELO, R.R.; SANTINI, E.J. Variação Axial da Densidade Básica da Madeira de Três Espécies de Gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.6 (1):121-126. 2011.

MATSUNAGA, M.; MINATO, K.; NAKATSUBO, F. Vibrational Property Changes of Spruce Wood by Impregnation with Water-Soluble Extractives of Pernambuco (*Guilandina echinata* Spreng.). **Journal of Wood Science**. v.45. n.6. p.470-474. 1999.

MEDEIROS NETO, P.N.; PAES, J.B.; SEGUNDINHO, P.G.A. Determinações dos Módulos de Elasticidade e Ruptura de Madeiras por Técnicas Não Destrutivas e Destrutiva. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 44. n.111. p.683-690. 2016.

MELO, J.E.; CORADIN, V.R.; MENDES, J.C. Classes de Densidade para Madeiras da Amazônia Brasileira. **In: Congresso Florestal Brasileiro**. Anais. v.3. p.695-705. Campos do Jordão. 1990.

MELO, J.E. **Madeira: Características e Aplicações**. Brasília. LPF. 30p. 2002.

MELO, R.R. Estabilidade Dimensional de Compostos de Madeira. **Ciência da Madeira**. Pelotas. v.04. n.02. p.152-175. Nov. 2013.

MELO, J.E.; CAMARGOS, J.A.A. **Madeiras e seus Usos**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. SFB/LPF/MMA. 228p. 2016.

MINATO, K.; KONAKA, Y.; BRÉMAUD, I.; SUZUKI, S.; OBATAYA, E. Extractives of Muirapiranga (*Brosimum sp.*) and its Effects on the Vibrational Properties of Wood. **Journal of Wood Science**.v.56. p.41-46. 2010.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Portaria MMA Nº 443, de 17 de dezembro de 2014. Disponível em: http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/static/pdf/portaria_mma_443_2014.pdf. Acesso em 03 dez. 2020.

MORAIS, S.A.L.; NASCIMENTO, E.A.; MELO, D.C. Análise da Madeira de *Pinus oocarpa* Parte 1 – Estudo dos Constituintes Macromoleculares e Extrativos Voláteis. **Revista Árvore**. Viçosa-MG. v.29. n.3. p.461-470. 2005.

MORESCHI, J. C. **Propriedades Tecnológicas da Madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 4ª edição. 2012.

OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, J.C. Variação Radial da Retratibilidade e Densidade Básica da Madeira de *Eucalyptus saligna* sm. **Revista Árvore**. Viçosa-MG. v.27. n.3. p.381-385. 2003.

OLIVEIRA, J.T.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N.C. Avaliação da Retratibilidade da Madeira de Sete Espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**. Viçosa-MG. v.34. n.5. p.929-936. 2010.

OTANI, L.B. SEGUNDINHO, P.G.A.; MORALES, E.A.M.; PEREIRA, A.H.A. Caracterização dos Módulos Elásticos de Madeiras e Derivados Utilizando a Técnica de Excitação por Impulso. **Informativo Técnico Científico ITC-05 /ATCP**. 33p. 2015.

PÉREZ, M.; MARCONI, E. **Wooden Musical Instruments - Different Forms of Knowledge**. Book of End of WoodMusICK COST Action FP1302. 2018.

PORTELA, M. S. **Estudo das propriedades acústicas da madeira Amazônica marupá para tampo de violão**. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.154p. 2014.

PROCÓPIO, L.C.; SECCO, R.S. A Importância da Identificação Botânica nos Inventários Florestais: o Exemplo do “tauari” (*Couratari spp.* e *Cariniana spp.* - Lecythydaceae) em duas Áreas Manejadas no Estado do Pará. **Acta Amazônica**. v.38 (1). p.31-44. 2008.

REIS, L.R. **Utilização de Espécies Madeireiras Brasileiras para Fabricação do Corpo de Oboé**. Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Florestal. Universidade de Brasília, Brasília. Dezembro, 2007.

RIBEIRO, E.S. GONÇALEZ, J., C. SOUZA, R., S. PAULA, M., H. Avaliação de Propriedades Mecânicas da Madeira por meio de Métodos Destrutivos e Não-Destrutivos. **Nativa**. Sinop. v.4, n.2. p.103-106. mar./abr. 2016.

RIBEIRO, E.S. **Propriedades Tecnológicas de Vinte Espécies de Madeiras Tropicais Comercializadas pelo Estado de Mato Grosso**. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal. 183p. 2017.

ROCHA, J.S.; PAULA, E.V.C.M.; SIQUEIRA, M.L. Flexão Estática em Amostras Pequenas Livres de Defeitos. **Acta Amazônica**. 18 (1-2). p.147-162. 1988.

SANTANA, M.A.E.; OKINO, E.Y.A. Chemical Composition of 36 Brazilian Amazon Forest Wood Species. **Holzforschung**. v.61, p.469-477. 2007.

SARTO, C.; SANSIGOLO, C.A. Cinética da Remoção dos Extrativos da Madeira de *Eucalyptus grandis* Durante Polpação Kraft. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá. Brasil. v.32, n.3. p.227-235. 2010.

SCHIMLECK, R.C.; ESPEY, C.; MORA, C.R.; EVANS, R. Characterization of the Wood Quality of Pernambuco (*Caesalpinia echinata* Lam) by Measurements of Density, Extractives Content, Microfibril Angle, Stiffness, Color, and NIR Spectroscopy. **Holzforschung**. 63(4). p.457-463. July. 2009.

SEGUNDINHO, P.G.A.; COSSOLINO, L.C.; PEREIRA, A.H.A.; JUNIOR CALIL, C. Aplicação do Método de Ensaio das Frequências Naturais de Ressonância para Obtenção do Módulo de Elasticidade de Peças Estruturais de Madeira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.6, p.1155-1161, 2012.

SENRA, J.B. **Crítérios Físicos e Seleção de Madeira para Tábua Harmônica de Piano**. Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Florestal. Universidade de Brasília, Brasília. Julho. 2013.

SERPA, P.N. et al. Avaliação de Algumas Propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**. v.27. n.5. p.723-733. 2003.

SFB-SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. SOUZA, M., H. CAMARGOS, J. A. **Madeiras Tropicais do Brasil. Vol 2**. Brasília: SFB/LPF. Livro. 156 p. 2014.

SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Concessões Florestais em Andamento**. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/florestas-sob-concessao>. Acesso em 03 dez. 2020.

SILVA, L.B.; SANTOS, F.A.R.; GASSON, P.; CUTLER, D. Estudo Comparativo da Madeira de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Fabaceae-Mimosoideae) na Caatinga Nordestina. **Acta Botanica Brasilica**. 25 (2):301-314. 2011.

SiBBr - SISTEMA DA INFORMAÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA. Disponível em: < <https://sibbr.gov.br/> >. Acesso em 05 de maio de 2021.

SLOOTEN, H.J.V.D.; SOUZA, M.R. **Avaliação das Espécies Madeireiras da Amazônia Selecionadas para a Manufatura de Instrumentos Musicais**. Ministério da Ciência e Tecnologia Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 72p. 1993.

SPROßMANN, R.; ZAUER, M.; WAGENFÜHR, A. Characterization of Acoustic and Mechanical Properties of Common Tropical Woods Used in Classical Guitars. **Results in Physics**. 7. p.1737–1742. 2017.

TARGA, L.A.; BALLARIN, A.W.; BIAGGIONI, M.A.M. Avaliação do Módulo de Elasticidade da Madeira com Uso de Método Não–Destrutivo de Vibração Transversal. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v.25. n.2. p.291-299. 2005.

TAYLOR, A.M.; GARTNER, B.L.; MORRELL, J.J. Heartwood Formation and Natural Durability - A Review. **Wood and Fiber Science**, v.34, n.4, p.587-611, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - **TAPPI T 204 om-88: Solvent Extractives of Wood and Pulp**, 1998.

TELES, R.F. Avaliação de Madeiras Amazônicas para Utilização em Instrumentos Musicais, Madeiras para Violão. **Relatório Final PIBIC**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA / Laboratório de Produtos Florestais – LPF. 2004.

TELES, R.F; DEL MENEZZI, C.S.; SOUZA, F.; SOUZA, M.R. Nondestructive Evaluation of a Tropical Hardwood: Interrelationship Between Methods and Physical Acoustical Variables. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.02, n.01, p.01-14, Maio. 2011.

TELES, R.F.; SOUZA, M. R.; WIMMER, P. Acoustical Properties of 10 Amazonian Hardwoods. **25th International Congress on Sound and Vibration**. ICSV25. Hiroshima. 8-12 July. 2018.

TER STEEGE, H. et al. The discovery of the Amazonian tree flora with an updated checklist of all known tree taxa. **Scientific Reports**, v.6, p.1–15. 2016.

TOMASI, J.C.; TRAMONTINA, J.; TRES, J.; CHECHI, L.; TREVISAN, R. Propriedades Físicas da Madeira de *Ateleia glazioviana* BAILL. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer - Goiânia. v.9. n.16. p.1824-1832. 2013.

TRAORÉ, B. et al. Acoustic Quality of Vène Wood (*Pterocarpus erinaceus* Poir.) for Xylophone Instrument Manufacture in Mali. **Annals of Forest Science**, v.67. n.8. 2010.

TRAUTENMÜLLER, J. et al. Variação longitudinal da Massa Específica Básica da Madeira de *Cordia americana* e *Alchornea triplinervia*. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.44. n.5. p.817-82. 2014.

UFPR – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Curso Superior de Tecnologia em Luteria** Disponível em: <http://www.luteria.ufpr.br/portal/>. Acesso em 03 dez. 2020.

USDA – UNITED STATE DEPARTMENTE AGRICULTURE. Forest Service. Forest Product Laboratory. **Wood handbook - Wood as an Engineering Material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508p. 2010.

WEGST, U.G.K. Wood for sound. **American Journal of Botany**, v.93. n.10. p.1439-1448. 2006.

WEGST, U.G.K. Bamboo and Wood in Musical Instruments. **Annual Review of Materials Research**. 38:323-349. 2008.

YOSHIKAWA, S. Acoustical Classification of Woods for String Instruments. **Journal Acoustic Society of America**. 122 (1). p.568-573. July. 2007.

YOSHIKAWA, S.; WALTHAM, C. Woods for Wooden Musical Instruments. **International Symposium on Musical Acoustics**. Le Mans, France. p.281-286. 2014.

ZAUER, M.; PFRIEM, A. Tropical and Traditional Wood Species in Musical Instruments and Case Studies of Their Substitution with Modified Wood. **Wooden Musical Instruments: Different Forms of Knowledge**. Book of End of WoodMusICK COST Action FP1302. P (82-96). 2018.

APÊNDICES

Tabela 1. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para as densidades: seca; verde; aparente e básica para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Testes de efeitos entre assuntos						
Origem	Variável dependente	Tipo III Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Modelo corrigido	Densidade seca (g/cm ³)	4,993 ^a	6	,832	785,925	,000
	Densidade verde (g/cm ³)	,584 ^b	6	,097	22,649	,000
	Densidade básica (g/cm ³)	4,240 ^c	6	,707	351,072	,000
	Densidade aparente (g/cm ³)	4,833 ^d	6	,806	786,990	,000
Interceptação	Densidade seca (g/cm ³)	160,830	1	160,830	151893,813	,000
	Densidade verde (g/cm ³)	299,897	1	299,897	69796,546	,000
	Densidade básica (g/cm ³)	126,283	1	126,283	62744,170	,000
	Densidade aparente (g/cm ³)	179,339	1	179,339	175210,856	,000
Espécie	Densidade seca (g/cm ³)	4,993	6	,832	785,925	,000
	Densidade verde (g/cm ³)	,584	6	,097	22,649	,000
	Densidade básica (g/cm ³)	4,240	6	,707	351,072	,000
	Densidade aparente (g/cm ³)	4,833	6	,806	786,990	,000
Erro	Densidade seca (g/cm ³)	,215	203	,001		
	Densidade verde (g/cm ³)	,872	203	,004		
	Densidade básica (g/cm ³)	,409	203	,002		
	Densidade aparente (g/cm ³)	,208	203	,001		
Total	Densidade seca (g/cm ³)	166,038	210			
	Densidade verde (g/cm ³)	301,353	210			
	Densidade básica (g/cm ³)	130,932	210			
	Densidade aparente (g/cm ³)	184,380	210			
Total corrigido	Densidade seca (g/cm ³)	5,208	209			
	Densidade verde (g/cm ³)	1,456	209			
	Densidade básica (g/cm ³)	4,648	209			
	Densidade aparente (g/cm ³)	5,041	209			

Tabela 2. Análise descritiva com a média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) do teor de umidade dos corpos de prova utilizados no cálculo da densidade aparente nos testes físicos para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)
Cedrinho	30	15,05	1,61	10,70
Cumaru-ferro	30	12,19	0,71	5,82
Cumaru-rosa	30	12,7	0,96	7,56
Ipê	30	12,41	0,38	3,06
Jequitibá	30	14,28	0,89	6,23
Roxinho	30	14,01	0,73	5,21
Tamarindo	30	13,73	0,66	4,81

Tabela 3. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para o teor de umidade dos corpos de prova em ambiente controlado de temperatura ($21^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa ($63\% \pm 3\%$) utilizados para no cálculo da densidade aparente dos ensaios das propriedades físicas para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Testes de efeitos entre assuntos

Variável dependente: Teor de umidade (%)

Origem	Tipo III Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.	Noncent. Parâmetro	Potência observada ^b
Modelo corrigido	206,169 ^a	6	34,362	40,656	,000	243,938	1,000
Interceptação	38165,462	1	38165,462	45157,072	,000	45157,072	1,000
Espécie	206,169	6	34,362	40,656	,000	243,938	1,000
Erro	171,570	203	,845				
Total	38543,201	210					
Total corrigido	377,739	209					

a. R Quadrado = ,546 (R Quadrado Ajustado = ,532)

b. Calculado usando alfa = ,05

Tabela 4. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para os ensaios de retração e variação volumétrica pela NBR 7190 para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Testes de efeitos entre assuntos

Origem	Variável dependente	Tipo III Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Modelo corrigido	Contração tangencial (%)	335,917 ^a	6	55,988	55,019	,000
	Contração radial (%)	137,788 ^b	6	22,965	96,970	,000
	Contração longitudinal (%)	6,294 ^c	6	1,049	58,225	,000
	Variação volumétrica (%)	868,492 ^d	6	144,415	49,434	,000
Interceptação	Contração tangencial (%)	11229,038	1	11229,038	11035,054	,000
	Contração radial (%)	5091,022	1	5091,022	21497,320	,000
	Contração longitudinal (%)	18,034	1	18,034	1000,938	,000
	Variação volumétrica (%)	40360,877	1	40360,877	13815,822	,000
Espécie	Contração tangencial (%)	335,917	6	55,988	55,019	,000
	Contração radial (%)	137,788	6	22,965	96,970	,000
	Contração longitudinal (%)	6,294	6	1,049	58,225	,000
	Variação volumétrica (%)	868,492	6	144,415	49,434	,000
Erro	Contração tangencial (%)	208,569	203	1,018		
	Contração radial (%)	48,075	203	,237		
	Contração longitudinal (%)	3,658	203	,018		
	Variação volumétrica (%)	593,043	203	2,921		
Total	Contração tangencial (%)	11771,524	210			
	Contração radial (%)	5276,885	210			
	Contração longitudinal (%)	27,988	210			
	Variação volumétrica (%)	41820,411	210			
Total corrigido	Contração tangencial (%)	542,485	209			
	Contração radial (%)	185,863	209			
	Contração longitudinal (%)	9,952	209			
	Variação volumétrica (%)	1459,535	209			

Tabela 5. Análise descritiva com os valores da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) do coeficiente anisotrópico para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Cedrinho	30	2,07	0,23	11,16
Cumaru-ferro	30	1,48	0,10	6,89
Cumaru-rosa	30	1,39	0,16	11,65
Ipê	30	1,04	0,12	11,54
Jequitibá	30	1,34	0,11	8,21
Roxinho	30	1,71	0,27	15,67
Tamarindo	30	1,59	0,19	11,64

Tabela 6. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para o coeficiente anisotrópico para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Testes de efeitos entre assuntos

Variável dependente: Coeficiente de anisotropia

Origem	Tipo III Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.	Noncent. Parâmetro	Potência observada ^b
Modelo corrigido	18,527 ^a	6	3,088	97,098	,000	582,586	1,000
Interceptação	483,186	1	483,186	15193,616	,000	15193,616	1,000
Espécie	18,527	6	3,088	97,098	,000	582,586	1,000
Erro	6,456	203	,032				
Total	508,189	210					
Total corrigido	24,983	209					

a. R Quadrado = ,742 (R Quadrado Ajustado = ,734)

b. Calculado usando alfa = ,05

Tabela 7. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para o teor de extrativos em etanol tolueno, TAPPI T 204, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Testes de efeitos entre assuntos

Variável dependente: Teor de Extrativos Totais (%)

Origem	Tipo III Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Modelo corrigido	581,166 ^a	6	96,861	48,586	,000
Interceptação	3226,456	1	3226,456	1618,411	,000
Espécie	581,166	6	96,861	48,586	,000
Erro	109,648	55	1,994		
Total	3910,945	62			
Total corrigido	690,814	61			

a. R Quadrado = ,841 (R Quadrado Ajustado = ,824)

Tabela 8. Análise descritiva com os valores da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) para o teor de extrativos em etanol/tolueno (TAPPI T204) para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)
Roxinho	9	11,58	1,66	14,36
Cedrinho	9	2,68	0,66	24,77
Tamarindo	8	8,04	0,87	10,79
Ipê	9	8,19	1,74	21,23
Cumaru-ferro	9	8,90	1,93	21,66
Cumaru-rosa	9	8,33	1,68	20,12
Jequitibá	9	2,82	0,54	19,27

Tabela 9. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para o módulo de elasticidade (MOE) obtido no ensaio de flexão estática reduzida para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Testes de efeitos entre assuntos

Variável dependente: MOE (GPa)

Origem	Tipo III Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.	Noncent. Parâmetro	Potência observada ^b
Modelo corrigido	620,700 ^a	6	103,450	18,124	,000	108,744	1,000
Interceptação	20265,222	1	20265,222	3550,392	,000	3550,392	1,000
Espécie	620,700	6	103,450	18,124	,000	108,744	1,000
Erro	439,507	77	5,708				
Total	21325,429	84					
Total corrigido	1060,207	83					

a. R Quadrado = ,585 (R Quadrado Ajustado = ,553)

b. Calculado usando alfa = ,05

Tabela 10. Análise descritiva com os valores da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) para o módulo de elasticidade (MOE) obtido pelo ensaio de flexão estática reduzida (ASTM D-143) para as sete espécies de madeira da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média (GPa)	Desvio Padrão	CV (%)
Cedrinho	12	10,9	1,76	16,15
Cumaru-ferro	12	19,65	2,16	10,99
Cumaru-rosa	12	15,45	2,60	16,83
Ipê	12	17,06	3,65	21,40
Jequitibá	12	12,83	1,74	13,56
Roxinho	12	15,41	2,08	13,50
Tamarindo	12	17,43	2,17	12,45

Tabela 11. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para o módulo de ruptura (MOR) obtido no ensaio de flexão estática reduzida para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Testes de efeitos entre assuntos							
Variável dependente: MOR [MPa]							
Origem	Tipo III Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.	Noncent. Parâmetro	Potência observada ^b
Modelo corrigido	85457,601 ^a	6	14242,934	21,990	,000	131,942	1,000
Interceptação	1647232,346	1	1647232,346	2543,236	,000	2543,236	1,000
Espécie	85457,601	6	14242,934	21,990	,000	131,942	1,000
Erro	49872,255	77	647,692				
Total	1782562,201	84					
Total corrigido	135329,856	83					

a. R Quadrado = ,631 (R Quadrado Ajustado = ,603)

b. Calculado usando alfa = ,05

Tabela 12. Análise descritiva com os valores da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) para o Módulo de ruptura (MOR) obtido pelo ensaio de flexão estática reduzida (ASTM D-143) para as sete espécies de madeira da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
Cedrinho	12	89,4	13,34	14,92
Cumaru-ferro	12	174,4	27,39	15,71
Cumaru-rosa	12	127,9	35,01	27,37
Ipê	12	173,9	37,60	21,62
Jequitibá	12	105,7	6,34	6,00
Roxinho	12	138,8	25,10	18,08
Tamarindo	12	170	17,06	10,04

Tabela 13. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtidas pelo equipamento Stress Wave Timer, para a espécie *Peltogyne lecointei* (roxinho).

Roxinho		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Velocidade (m/s)	Entre Grupos	17891,148	3	5963,716	0,168	0,917
	Nos grupos	1561238,719	44	35482,698		
	Total	1579129,867	47			
MOEd (GPa)	Entre Grupos	1,546	3	0,515	0,130	0,942
	Nos grupos	173,961	44	3,954		
	Total	175,507	47			

Tabela 14. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtidas pelo equipamento Stress Wave Timer, para a espécie *Erismia uncinatum* (cedrinho).

Cedrinho		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Velocidade (m/s)	Entre Grupos	19924,255	3	6641,418	0,066	0,978
	Nos grupos	4440916,217	44	100929,914		
	Total	4460840,472	47			
MOEd (GPa)	Entre Grupos	0,718	3	0,239	0,048	0,986
	Nos grupos	220,353	44	5,008		
	Total	221,071	47			

Tabela 15. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtidas pelo equipamento Stress Wave Timer, para a espécie *Martiodendrom elatum* (tamarindo).

Tamarindo		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Velocidade (m/s)	Entre Grupos	699601,843	3	233200,614	0,723	0,544
	Nos grupos	14194651,550	44	322605,717		
	Total	14894253,393	47			
MOEd (GPa)	Entre Grupos	20,989	3	6,996	0,488	0,693
	Nos grupos	631,083	44	14,343		
	Total	652,072	47			

Tabela 16. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtidas pelo equipamento Stress Wave Timer, para a espécie *Handroanthus incanus* (ipê).

Ipê		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Velocidade (m/s)	Entre Grupos	17422,288	3	5807,429	0,023	0,995
	Nos grupos	11273653,372	44	256219,395		
	Total	11291075,660	47			
MOEd (GPa)	Entre Grupos	1,520	3	0,507	0,033	0,992
	Nos grupos	673,192	44	15,300		
	Total	674,711	47			

Tabela 17. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtidas pelo equipamento Stress Wave Timer, para a espécie *Dipteryx odorata* (cumaru-ferro).

Cumaru-ferro		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Velocidade (m/s)	Entre Grupos	37154,262	3	12384,754	0,302	0,824
	Nos grupos	1803154,087	44	40980,775		
	Total	1840308,350	47			
MOEd (GPa)	Entre Grupos	3,782	3	1,261	0,268	0,848
	Nos grupos	207,016	44	4,705		
	Total	210,798	47			

Tabela 18. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtidas pelo equipamento Stress Wave Timer, para a espécie *Dipteryx magnifica* (cumaru-rosa).

Cumaru-rosa		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Velocidade (m/s)	Entre Grupos	251791,212	3	83930,404	0,951	0,424
	Nos grupos	3883847,381	44	88269,259		
	Total	4135638,593	47			
MOEd (GPa)	Entre Grupos	0,173	3	0,058	0,011	0,998
	Nos grupos	229,089	44	5,207		
	Total	229,262	47			

Tabela 19. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtidas pelo equipamento Stress Wave Timer, para a espécie *Allantoma decandra* (jequitibá).

Jequitibá		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Velocidade (m/s)	Entre Grupos	489380,058	3	163126,686	0,979	0,411
	Nos grupos	7334630,734	44	166696,153		
	Total	7824010,792	47			
MOEd (GPa)	Entre Grupos	33,683	3	11,228	0,783	0,510
	Nos grupos	631,296	44	14,348		
	Total	664,979	47			

Tabela 20. Análise de Variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para velocidade de propagação sonora e módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) no equipamento Stress Wave Timer sem distinção da orientação, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Velocidade (m/s)	Entre Grupos	12241066,172	6	2040177,695	14,584	0,000
	Nos grupos	46025257,127	329	139894,399		
	Total	58266323,299	335			
MOEd (GPa)	Entre Grupos	2470,956	6	411,826	47,904	0,000
	Nos grupos	2828,401	329	8,597		
	Total	5299,357	335			

Tabela 21. Análise descritiva com os valores da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) para o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtido pelo equipamento Stress Wave Timer para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média (GPa)	Desvio Padrão	CV (%)
Roxinho	48	19,59	1,93	9,85
Cedrinho	48	14,23	2,17	15,25
Tamarindo	48	19,52	3,72	19,06
Ipê	48	19,73	3,79	19,21
Cumaru-ferro	48	23,85	2,12	8,89
Cumaru-rosa	48	19,65	2,21	11,25
Jequitibá	48	17,06	3,76	22,04

Tabela 22. Teste Tukey ($p < 0,05$) para o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtido pelo equipamento Stress Wave Timer para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	1	2	3	4
Cedrinho	48	14,2340			
Jequitibá	48		17,0638		
Tamarindo	48			19,5197	
Roxinho	48			19,5918	
Cumaru-rosa	48			19,6480	
Ipê	48			19,7303	
Cumaru-ferro	48				23,8475
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Subconjunto para alfa = 0.05

Tabela 23. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração flexional, para a espécie *Peltogyne lecointei* (roxinho).

Roxinho		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,263	1	0,263	0,049	0,827
	Nos grupos	118,258	22	5,375		
	Total	118,520	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	46,667	1	46,667	0,036	0,851
	Nos grupos	28396,684	22	1290,758		
	Total	28443,351	23			
Velocidade (m/s) Orientação	Entre Grupos	3506,503	1	3506,503	0,051	0,823
	Nos grupos	1502039,574	22	68274,526		
	Total	1505546,077	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	154181,324	1	154181,324	0,060	0,809
	Nos grupos	51127896,331	20	2556394,817		
	Total	51282077,655	21			

Tabela 24. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração flexional, para a espécie *Erismia uncinatum* (cedrinho).

Cedrinho		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,406	1	0,406	0,050	0,825
	Nos grupos	178,146	22	8,098		
	Total	178,553	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	320,227	1	320,227	0,076	0,786
	Nos grupos	93081,449	22	4230,975		
	Total	93401,675	23			
Velocidade (m/s) Orientação	Entre Grupos	10877,487	1	10877,487	0,049	0,828
	Nos grupos	4927547,209	22	223979,419		
	Total	4938424,695	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	1235784,244	1	1235784,244	0,298	0,591
	Nos grupos	78768562,482	19	4145713,815		
	Total	80004346,726	20			

Tabela 25. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração flexional, para a espécie *Martiodendron elatum* (tamarindo).

Tamarindo		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	2,249	1	2,249	0,197	0,661
	Nos grupos	251,131	22	11,415		
	Total	253,380	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	497,770	1	497,770	0,229	0,637
	Nos grupos	47888,757	22	2176,762		
	Total	48386,528	23			
Velocidade (m/s) Orientação	Entre Grupos	29021,824	1	29021,824	0,241	0,628
	Nos grupos	2645860,955	22	120266,407		
	Total	2674882,779	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	2310058,147	1	2310058,147	0,875	0,361
	Nos grupos	50163595,965	19	2640189,261		
	Total	52473654,112	20			

Tabela 26. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração flexional, para a espécie *Handroanthus incanus* (ipê).

Ipê		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,156	1	0,156	0,006	0,940
	Nos grupos	596,685	22	27,122		
	Total	596,840	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	33,528	1	33,528	0,004	0,953
	Nos grupos	203515,767	22	9250,717		
	Total	203549,295	23			
Velocidade (m/s) Orientação	Entre Grupos	2272,474	1	2272,474	0,005	0,946
	Nos grupos	10779521,268	22	489978,239		
	Total	10781793,742	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	6384228,570	1	6384228,570	1,303	0,266
	Nos grupos	107830927,397	22	4901405,791		
	Total	114215155,966	23			

Tabela 27. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração flexional, para a espécie *Dipteryx odorata* (cumaru-ferro).

Cumaru-ferro		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,081	1	0,081	0,007	0,932
	Nos grupos	243,571	22	11,071		
	Total	243,652	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	12,136	1	12,136	0,006	0,939
	Nos grupos	43911,210	22	1995,964		
	Total	43923,347	23			
Velocidade (m/s) Orientação	Entre Grupos	913,654	1	913,654	0,009	0,926
	Nos grupos	2295996,925	22	104363,497		
	Total	2296910,578	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	3163,276	1	3163,276	0,003	0,960
	Nos grupos	27317112,691	22	1241686,941		
	Total	27320275,967	23			

Tabela 28. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração flexional, para a espécie *Dipteryx magnifica* (cumaru-rosa).

Cumaru-rosa		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa)* Orientação	Entre Grupos	2,653	1	2,653	0,238	0,631
	Nos grupos	245,390	22	11,154		
	Total	248,043	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	782,422	1	782,422	0,405	0,531
	Nos grupos	42488,712	22	1931,305		
	Total	43271,134	23			
Velocidade (m/s) Orientação	Entre Grupos	42832,487	1	42832,487	0,424	0,522
	Nos grupos	2220643,121	22	100938,324		
	Total	2263475,608	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	31003648,990	1	31003648,990	2,293	0,146
	Nos grupos	270405147,438	20	13520257,372		
	Total	301408796,428	21			

Tabela 29. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração flexional, para a espécie *Allantoma decandra* (jequitibá).

Jequitibá		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,646	1	0,646	0,086	0,772
	Nos grupos	164,415	22	7,473		
	Total	165,060	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	258,289	1	258,289	0,320	0,577
	Nos grupos	17761,655	22	807,348		
	Total	18019,944	23			
Velocidade (m/s) Orientação	Entre Grupos	14744,597	1	14744,597	0,218	0,645
	Nos grupos	1490208,632	22	67736,756		
	Total	1504953,229	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	1578392,324	1	1578392,324	0,242	0,628
	Nos grupos	136856763,797	21	6516988,752		
	Total	138435156,121	22			

Tabela 30. Análise de Variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para frequência de ressonância fundamental; velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) e coeficiente de amortecimento ($\tan \delta$) no modo de vibração flexional sem distinção da orientação, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa)	Entre Grupos	1987,389	6	331,231	29,560	0,000
	Nos grupos	1804,048	161	11,205		
	Total	3791,437	167			
Frequência (Hz)	Entre Grupos	174912,908	6	29152,151	9,799	0,000
	Nos grupos	478995,274	161	2975,126		
	Total	653908,183	167			
Vp (m/s)	Entre Grupos	8696284,699	6	1449380,783	8,987	0,000
	Nos grupos	25965986,707	161	161279,421		
	Total	34662271,406	167			
Tan δ (Ad. E-6)	Entre Grupos	192717163,775	6	32119527,296	6,297	0,000
	Nos grupos	765139462,975	150	5100929,753		
	Total	957856626,750	156			

Tabela 31. Análise descritiva com os valores da média, número de corpos de prova (N), desvio padrão e coeficiente de variação (CV) do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtidas pelo método de vibração flexional para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média (GPa)	Desvio Padrão	CV (%)
Roxinho	24	19,84	2,27	11,44
Cedrinho	24	14,61	2,79	19,07
Tamarindo	24	21,86	3,32	15,19
Ipê	24	21,27	5,09	23,95
Cumaru-ferro	24	26,48	3,25	12,29
Cumaru-rosa	24	20,31	3,28	16,17
Jequitibá	24	17,35	2,68	15,44

Tabela 32. Teste de Tukey ($p < 0.05$) realizada pelo programa SPSS para o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) no modo de vibração flexional para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	1	2	3	4
Cedrinho	24	14,6082			
Jequitibá	24	17,3463	17,3463		
Roxinho	24		19,8363	19,8363	
Cumaru-rosa	24			20,3114	
Ipê	24			21,2683	
Tamarindo	24			21,8558	
Cumaru-ferro	24				26,4754
Sig.		0,075	0,140	0,364	1,000

Subconjunto para alfa = 0.05

Tabela 33. Análise descritiva com os valores da média, número de corpos de prova (N), desvio padrão e coeficiente de variação (CV) da frequência de ressonância fundamental obtidas pelo método de vibração flexional para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média (Hz)	Desvio Padrão	CV (%)
Roxinho	24	667,42	35,17	5,27
Cedrinho	24	684,30	63,73	9,31
Tamarindo	24	707,89	45,87	6,48
Ipê	24	683,05	94,07	13,77
Cumaru-ferro	24	743,22	43,70	5,88
Cumaru-rosa	24	684,36	43,37	6,34
Jequitibá	24	760,43	27,99	3,68

Tabela 34. Análise descritiva com os valores da média, número de corpos de prova (N), desvio padrão e coeficiente de variação (CV) do coeficiente de amortecimento ($\tan \delta$) obtidas pelo método de vibração flexional para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

	Espécie	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Tan δ (Ad. E-6)	Roxinho	22	7982,98	1562,69	19,58
	Cedrinho	21	7577,41	2000,05	26,39
	Tamarindo	21	6001,80	1619,78	26,99
	Ipê	24	6664,02	2228,42	33,44
	Cumaru-ferro	24	5315,59	1089,88	20,50
	Cumaru-rosa	22	6535,28	3788,51	57,97
	Jequitibá	23	8722,40	2508,49	28,76

Tabela 35. Análise descritiva com os valores da média, número de corpos de prova (N), desvio padrão e coeficiente de variação (CV) para densidade aparente no momento dos testes no método de vibração flexional para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

	Espécie	N	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão	CV (%)
	Roxinho	24	1,01	0,03	2,78
	Cedrinho	24	0,70	0,05	6,46
	Tamarindo	24	0,99	0,03	2,84
	Ipê	24	1,02	0,04	4,34
	Cumaru-ferro	24	1,08	0,03	2,36
	Cumaru-rosa	24	0,98	0,04	3,81
	Jequitibá	24	0,69	0,04	6,12
	Total	168	0,93	0,15	16,41

Tabela 36. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan \delta$) no modo de vibração longitudinal, para a espécie *Peltogyne lecointei* (roxinho).

	Roxinho	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,000	1	0,000	0,000	0,996
	Nos grupos	114,347	22	5,198		
	Total	114,347	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	3,375	1	3,375	0,000	0,995
	Nos grupos	1589962,158	22	72271,007		
	Total	1589965,533	23			
Vp (m/s) Orientação	Entre Grupos	2,660	1	2,660	0,000	0,995
	Nos grupos	1270275,524	22	57739,797		
	Total	1270278,184	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	198247,451	1	198247,451	0,093	0,763
	Nos grupos	46703649,543	22	2122893,161		
	Total	46901896,993	23			

Tabela 37. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração longitudinal, para a espécie *Erismia uncinatum* (cedrinho).

Cedrinho		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,000	1	0,000	0,000	0,998
	Nos grupos	206,129	22	9,369		
	Total	206,129	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	4,084	1	4,084	0,000	0,997
	Nos grupos	6375077,816	22	289776,264		
	Total	6375081,900	23			
Vp (m/s) Orientação	Entre Grupos	3,234	1	3,234	0,000	0,997
	Nos grupos	5145954,976	22	233907,044		
	Total	5145958,210	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	1394175,370	1	1394175,370	0,580	0,454
	Nos grupos	52839086,827	22	2401776,674		
	Total	54233262,197	23			

Tabela 38. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração longitudinal, para a espécie *Martiodendron elatum* (tamarindo).

Tamarindo		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,000	1	0,000	0,000	1,000
	Nos grupos	305,919	22	13,905		
	Total	305,919	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	0,015	1	0,015	0,000	1,000
	Nos grupos	3900007,578	22	177273,072		
	Total	3900007,593	23			
Vp (m/s) Orientação	Entre Grupos	0,008	1	0,008	0,000	1,000
	Nos grupos	3148130,683	22	143096,849		
	Total	3148130,691	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	151538,166	1	151538,166	0,804	0,380
	Nos grupos	4147069,888	22	188503,177		
	Total	4298608,054	23			

Tabela 39. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração longitudinal, para a espécie *Handroanthus incanus* (ipê).

	Ipê	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,000	1	0,000	0,000	1,000
	Nos grupos	692,818	22	31,492		
	Total	692,818	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	0,004	1	0,004	0,000	1,000
	Nos grupos	14580189,846	22	662735,902		
	Total	14580189,850	23			
Vp (m/s) Orientação	Entre Grupos	0,009	1	0,009	0,000	1,000
	Nos grupos	11769098,216	22	534959,010		
	Total	11769098,225	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	0,412	1	0,412	0,000	0,999
	Nos grupos	13500628,137	20	675031,407		
	Total	13500628,549	21			

Tabela 40. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração longitudinal, para a espécie *Dipteryx odorata* (cumaru-ferro).

	Cumaru-ferro	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,000	1	0,000	0,000	0,999
	Nos grupos	211,493	22	9,613		
	Total	211,493	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	0,135	1	0,135	0,000	0,999
	Nos grupos	2264359,505	22	102925,432		
	Total	2264359,640	23			
Vp (m/s) Orientação	Entre Grupos	0,093	1	0,093	0,000	0,999
	Nos grupos	1827702,806	22	83077,400		
	Total	1827702,898	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	54133,756	1	54133,756	0,072	0,792
	Nos grupos	14319556,986	19	753660,894		
	Total	14373690,743	20			

Tabela 41. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração longitudinal, para a espécie *Dipteryx magnifica* (cumaru-rosa).

Cumaru-rosa		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,000	1	0,000	0,000	0,997
	Nos grupos	282,581	22	12,845		
	Total	282,581	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	3,154	1	3,154	0,000	0,996
	Nos grupos	2833997,153	22	128818,052		
	Total	2834000,306	23			
Vp (m/s) Orientação	Entre Grupos	2,555	1	2,555	0,000	0,996
	Nos grupos	2287424,120	22	103973,824		
	Total	2287426,675	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	753,200	1	753,200	0,000	0,984
	Nos grupos	39131430,793	22	1778701,400		
	Total	39132183,993	23			

Tabela 42. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para verificar diferenças nos sentidos radial e tangencial para a velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd); frequência de ressonância fundamental e coeficiente de amortecimento ($\tan\delta$) no modo de vibração longitudinal, para a espécie *Allantoma decandra* (jequitibá).

Jequitibá		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa) Orientação	Entre Grupos	0,000	1	0,000	0,000	0,997
	Nos grupos	173,781	22	7,899		
	Total	173,781	23			
Frequência (Hz) Orientação	Entre Grupos	3,450	1	3,450	0,000	0,995
	Nos grupos	1775112,429	22	80686,929		
	Total	1775115,880	23			
Vp (m/s) Orientação	Entre Grupos	2,905	1	2,905	0,000	0,995
	Nos grupos	1503654,484	22	68347,931		
	Total	1503657,389	23			
Tan δ (Ad. E-6) Orientação	Entre Grupos	29438,513	1	29438,513	0,045	0,835
	Nos grupos	14524902,872	22	660222,858		
	Total	14554341,385	23			

Tabela 43. Análise de Variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para frequência de ressonância fundamental; velocidade de propagação sonora; módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) e coeficiente de amortecimento ($\tan \delta$) no modo de vibração longitudinal, sem distinção da orientação, para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
MOEd (GPa)	Entre Grupos	2205,083	6	367,514	29,777	0,000
	Nos grupos	1987,068	161	12,342		
	Total	4192,151	167			
Frequência (Hz)	Entre Grupos	14546553,130	6	2424425,522	11,715	0,000
	Nos grupos	33318720,702	161	206948,576		
	Total	47865273,831	167			
Vp (m/s)	Entre Grupos	11843258,034	6	1973876,339	11,791	0,000
	Nos grupos	26952252,272	161	167405,294		
	Total	38795510,306	167			
Tan δ (Ad. E-6)	Entre Grupos	146029741,937	6	24338290,323	20,304	0,000
	Nos grupos	186994611,914	156	1198683,410		
	Total	333024353,850	162			
Densidade (g/cm ³)	Entre Grupos	3,649	6	0,608	443,548	0,000
	Nos grupos	0,221	161	0,001		
	Total	3,869	167			

Tabela 44. Análise descritiva com os valores da média, número de corpos de prova (N), desvio padrão e coeficiente de variação (CV) do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) obtidas pelo método de vibração longitudinal para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média (GPa)	Desvio Padrão	CV (%)
Roxinho	24	21,18	2,23	10,53
Cedrinho	24	15,67	2,99	19,11
Tamarindo	24	22,90	3,65	15,92
Ipê	24	22,52	5,49	24,37
Cumaru-ferro	24	28,58	3,03	10,61
Cumaru-rosa	24	21,76	3,51	16,11
Jequitibá	24	19,31	2,75	14,24

Tabela 45. Teste de Tukey ($p < 0.05$) realizada pelo programa SPSS para o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) no modo de vibração longitudinal para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira sem distinção da orientação.

Espécie	N	1	2	3	4
Cedrinho	24	15,6683			
Jequitibá	24		19,3071		
Roxinho	24		21,1825	21,1825	
Cumaru-rosa	24		21,7600	21,7600	
Ipê	24			22,5238	
Tamarindo	24			22,9029	
Cumaru-ferro	24				28,5829
Sig.		1,000	0,198	0,619	1,000

Subconjunto para alfa = 0.05

Tabela 46. Análise descritiva com os valores da média, número de corpos de prova (N), desvio padrão e coeficiente de variação (CV) da frequência de ressonância fundamental obtidas pelo método de vibração longitudinal para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média (Hz)	Desvio Padrão	CV (%)
Roxinho	24	5567,93	262,92	4,72
Cedrinho	24	5732,55	526,48	9,18
Tamarindo	24	5858,27	411,78	7,03
Ipê	24	5689,03	796,19	14,00
Cumaru-ferro	24	6263,85	313,77	5,01
Cumaru-rosa	24	5731,59	351,02	6,12
Jequitibá	24	6410,98	277,81	4,33

Tabela 47. Análise descritiva com os valores da média, número de corpos de prova (N), desvio padrão e coeficiente de variação (CV) do coeficiente de amortecimento ($\tan \delta$) obtidas pelo método de vibração longitudinal para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

	Espécie	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Tan δ (Ad. E-6)	Roxinho	24	7989,84	1428,01	17,87
	Cedrinho	24	7829,74	1535,57	19,61
	Tamarindo	24	5466,93	432,31	7,91
	Ipê	22	5995,79	801,80	13,37
	Cumaru-ferro	21	5578,97	847,75	15,20
	Cumaru-rosa	24	6368,84	1304,38	20,48
	Jequitibá	24	6838,44	795,49	11,63

Tabela 48. Análise descritiva com os valores da média, número de corpos de prova (N), desvio padrão e coeficiente de variação (CV) da densidade aparente no momento dos testes no método de vibração longitudinal para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão	CV (%)
Roxinho	24	1,015	0,029	2,86
Cedrinho	24	0,703	0,046	6,56
Tamarindo	24	0,985	0,028	2,89
Ipê	24	1,024	0,045	4,38
Cumaru-ferro	24	1,079	0,024	2,27
Cumaru-rosa	24	0,978	0,038	3,89
Jequitibá	24	0,691	0,042	6,08

Tabela 49. Análise de variância (Anova) realizada pelo programa SPSS para o teor de umidade dos corpos de prova após os ensaios de flexão estática reduzida para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Testes de efeitos entre assuntos

Variável dependente: Teor de umidade (%)

Origem	Tipo III Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.	Noncent. Parâmetro	Potência observada ^b
Modelo corrigido	122,418 ^a	6	20,403	65,272	,000	391,631	1,000
Interceptação	11321,840	1	11321,840	36219,940	,000	36219,940	1,000
Espécie	122,418	6	20,403	65,272	,000	391,631	1,000
Erro	24,069	77	,313				
Total	11468,327	84					
Total corrigido	146,487	83					

a. R Quadrado = ,836 (R Quadrado Ajustado = ,823)

b. Calculado usando alfa = ,05

Tabela 50. Análise descritiva com os valores da média, número de corpos de prova (N), desvio padrão e coeficiente de variação (CV) para o teor de umidade dos corpos de prova após os ensaios de flexão estática reduzida para as sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

Espécie	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Cedrinho	12	13,87	0,49	3,53
Cumaru-ferro	12	9,82	1,16	11,81
Cumaru-rosa	12	10,88	0,25	2,30
Ipê	12	11,09	0,65	5,86
Jequitibá	12	12,47	0,17	1,36
Roxinho	12	11,98	0,13	1,09
Tamarindo	12	11,16	0,26	2,33