



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

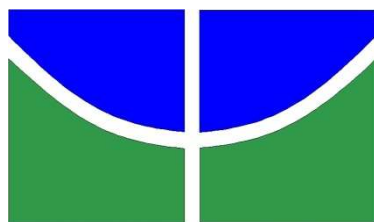
**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SETE ESPÉCIES DE MADEIRAS DA
AMAZÔNIA BRASILEIRA PARA A PRODUÇÃO DE XILOFONES**

Eduardo da Silva Santos

Brasília, 08 de dezembro de 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SETE ESPÉCIES DE MADEIRAS DA
AMAZÔNIA BRASILEIRA PARA A PRODUÇÃO DE XILOFONES**

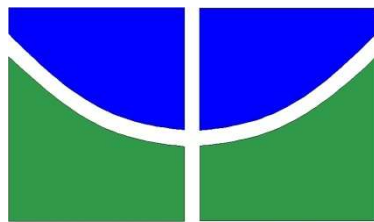
Eduardo da Silva Santos

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado ao Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade de Brasília como parte
das exigências para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa

Coorientador: M.Sc. Luciano Roitman

Brasília-DF, 08 de dezembro de 2023



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SETE ESPÉCIES DE MADEIRAS DA
AMAZÔNIA BRASILEIRA PARA A PRODUÇÃO DE XILOFONES**

Estudante: Eduardo da Silva Santos

Matrícula: 19/0105518

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa

Menção: SS

Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador (EFL)

Dr. Ricardo Faustino Teles
Instituto Federal de Brasília – IFB
Membro da Banca

M.Sc. Luciano Roitman
Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB - IBAMA
Membro da Banca

Brasília-DF, 08 de dezembro de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, EDUARDO DA SILVA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SETE ESPÉCIES DE MADEIRA DA AMAZÔNIA BRASILEIRA PARA A PRODUÇÃO DE XILOFONES.

56 p., 210 x 297mm (EFL/FT/UnB, Engenheira, Engenharia Florestal, 2023).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Instrumento musical

2. Propriedades acústicas

3. Amortecimento

4. Concessão Florestal

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, E. S. (2023). **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SETE ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA PARA A PRODUÇÃO DE XILOFONES.**

Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 56 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Eduardo da Silva Santos

TÍTULO: *AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SETE ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA PARA A PRODUÇÃO DE XILOFONES.*

GRAU: Engenheiro(a) Florestal

ANO: 2023

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

Eduardo da Silva Santos

Duardo.eduu1@gmail.com

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo fôlego de vida, inteligência e pela força de vontade dados a mim para chegar até aqui.

A meus pais, por todo o sustento, ajuda e conselhos durante minha vida e no presente trabalho.

Ao senhor Eliseu e sua família, por toda ajuda fornecida a mim e meus irmãos nos anos iniciais de nossa vida o que nos permitiu chegar até aqui.

A meus irmãos, pelos incentivos e ajuda no decorrer dessa caminhada acadêmica e neste trabalho.

À toda equipe do LPF, pela ajuda e conselhos fornecidos para realização da confecção dos xilofones, em particular, ao M.Sc. Luciano Roitman, por estar lado a lado durante todo o projeto.

Ao Antenor Ferreira, Francisco Abreu Pereira de Oliveira e ao Matheus Augusto de Oliveira Ribeiro, por de bom grado, avaliarem os xilofones produzidos no presente trabalho.

Ao Dr. Alexandre Florian da Costa, por tudo o que foi ensinado na graduação e pelos aconselhamentos, não apenas referentes ao trabalho, mas, também de vida.

RESUMO

Santos, Eduardo da Silva (SANTOS, E. S.) **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SETE ESPÉCIES DE MADEIRA DA AMAZÔNIA BRASILEIRA PARA A PRODUÇÃO DE XILOFONES**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

No presente estudo foram analisadas sete espécies de madeiras amazônicas quanto ao seu potencial para uso em fabricação de xilofones: *Allantoma decandra*, *Dipteryx magnifica*, *Dipteryx odorata*, *Erismia uncinatum*, *Handroanthus incanus*, *Martiodendron elatum* e *Peltogyne lecointei*. Para tanto, foram realizadas análises das propriedades acústicas dessas madeiras, além de sua sonoridade. Para análise acústica, realizaram-se ensaios não destrutivos para se obter dados sobre a densidade aparente; módulo de elasticidade; velocidade de propagação sonora; frequência fundamental de ressonância; e amortecimento das espécies. Para a análise da sonoridade da madeira, foi realizada a construção de um xilofone para cada espécie estudada e esses foram avaliados por músicos profissionais em instrumentos musicais de percussão. A partir dos resultados obtidos pôde-se observar que: *Allantoma decandra* e *Erismia uncinatum* foram consideradas inadequadas para confecção de xilofones padrão educacional; *Martiodendron elatum* foi a espécie com melhor resultado para a avaliação dos músicos a qual, igualmente, demonstrou excelentes resultados para as características desejáveis em madeiras utilizadas nesse tipo de instrumento e; *Handroanthus incanus* apresentou resultado semelhante. Além disso, as demais espécies foram conjuntamente aceitas para confecção de xilofones padrão educacional, apesar de *Peltogyne lecointei* não se mostrar bem qualificada para a maioria das propriedades aqui estudadas.

Palavras-chave: Instrumento musical; Propriedades acústicas; Amortecimento; Concessão florestal.

ABSTRACT

SANTOS, Eduardo da Silva (SANTOS, E. S.) **POTENTIAL EVALUATION OF SEVEN SPECIES WOODS FROM BRASILIAN AMAZÔNIA FOR XYLOPHONES PRODUCTION** Monograph (Forest Engineering Degree) – University of Brasília, Brasília, DF.

In the present study, seven species of Amazonian woods were analyzed for their potential for use in the manufacture of xylophones: *Allantoma decandra*, *Dipteryx magnifica*, *Dipteryx odorata*, *Erisma uncinatum*, *Handroanthus incanus*, *Martiodendron elatum* and *Peltogyne lecoitei*. To this end, analyses of the acoustic properties of these woods were carried out, as well as their sonority. For acoustic analysis, non-destructive tests were performed to obtain data on apparent density; modulus of elasticity; speed of sound propagation; fundamental frequency of resonance; and damping of species. For the analysis of the sonority of the wood, the construction of a xylophone for each species studied was carried out and these were evaluated by professional musicians on percussion musical instruments. From the results obtained, it was observed that: *Allantoma decandra* and *Erisma uncinatum* were considered inadequate for the manufacture of educational standard xylophones; *Martiodendron elatum* was the species with the best result for the evaluation of the musicians, which also showed excellent results for the desirable characteristics in woods used in this type of instrument and; *Handroanthus incanus* showed similar results. In addition, the other species were jointly accepted for the production of educational standard xylophones, although *Peltogyne lecoitei* was not well qualified for most of the properties studied here.

Keywords: Musical instrument; Xylophone; Acoustic properties; Damping, Forest concession.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Imagem dos instrumentos musicais Balafoni (esquerda) e xilofones (centro e direita).
.....16
- Figura 2.** Localização da FLONA de Jacundá.19
- Figura 3.** Máquinas utilizadas para a confecção dos corpos de prova de sete espécies de madeira da Amazônia brasileira. A) Plaina desempenadeira; B) Serra circular esquadrejadeira; C) Plaina desengrosso; D) Serra meia esquadria.22
- Figura 4.** Acondicionamento dos corpos de prova de sete espécies de madeira da Amazônia brasileira, em sala de aclimação com temperatura e umidade controlada.22
- Figura 5.** Balança digital, utilizada para pesagem e determinação da massa dos corpos de prova.
.....23
- Figura 6.** *Stress Wave Timer*, equipamento utilizado para medir o tempo de propagação da onda de tensão, gerada por impacto de um pêndulo metálico.24
- Figura 7.** Equipamento Sonelastic com suporte SA - BC, utilizado para obtenção das propriedades acústicas no modo de vibração flexional, por meio da técnica de excitação por impulso. Setas em amarelo indicam os pontos nodais, onde a peça deve ser apoiada.....25
- Figura 8.** Processo de perfuração das teclas de xilofone. A) detalhe do pré-furo em furadeira de bancada; B) detalhe do furo na região dos pontos nodais; C) detalhe do alargamento do furo.
.....27
- Figura 9.** Processo de desbaste das teclas, por meio da lixadeira de cinta, para alcançar a afinação desejada.28

| | |
|---|----|
| Figura 10. Resultado da afinação das teclas, cada qual com sua respectiva nota. Afinação no centro da tecla para alcance de notas mais graves, seta preta. Desbaste nas pontas para se chegar nas notas mais agudas, setas vermelhas. | 28 |
| Figura 11. Teste de afinação das teclas de xilofone. Detalhe da pegada em forma de pinça nos pontos nodais da tecla..... | 29 |
| Figura 12. Desdobro de <i>Dendrocalamus asper</i> , para confecção das peças roliças utilizadas na ligação entre as barras de <i>Araucaria angustifolia</i> . A) <i>D. asper</i> parcialmente recortado; B) Transformação das tiras de <i>D. asper</i> em peças roliças; C) Gabarito pelo qual ocorreu o ajuste de espessura das peças roliças. | 29 |
| Figura 13. Bases de xilofone padrão educacional confeccionadas durante a realização do trabalho. | 30 |
| Figura 14. Detalhe do perfurador de couro oco utilizado para recortar o disco de 5mm de espessura no formato circular. | 30 |
| Figura 15. Fixação das teclas de xilofone na base com parafuso. Detalhe dos discos de borracha postos embaixo de cada tecla de xilofone para diminuir o contato entre a base e teclas, setas pretas. Detalhe de peça de silicone colada na parte inferior das bases, seta vermelha. | 30 |
| Figura 16. Profissionais em instrumentos de percussão avaliando os xilofones desenvolvidos no projeto, usando como comparação um xilofone comercial padrão educacional da empresa Jog Vibratom. | 31 |
| Figura 17. Xilofones padrão educacional confeccionados a partir do desdobro de madeira de sete espécies da Amazônia brasileira. | 32 |
| Figura 18. Densidade aparente média para sete espécies da Amazônia brasileira. Letras diferentes entre barras indicam diferença significativa entre as espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). | 33 |

Figura 19. Frequência fundamental média para sete espécies da Amazônia brasileira. Letras diferentes entre barras indicam diferença significativa entre as espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).34

Figura 20. Comportamento do Módulo de Elasticidade dinâmico - MOEd médio de sete espécies de madeira da Amazônia brasileira obtidos por ensaios não destrutivos. Letras diferentes nos pontos indicam diferença significativa entre as espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).35

Figura 21. Comportamento da Velocidade de Propagação Sonora média de sete espécies de madeira da Amazônia brasileira obtidos por ensaios não destrutivos. Letras diferentes nos pontos indicam diferença significativa entre as espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).36

Figura 22. Coeficiente de amortecimento médio por densidade aparente média para as espécies estudadas, obtidas pelo equipamento Sonelastic.37

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Espécies de madeiras da Amazônia brasileira utilizadas no estudo, coletadas na Floresta Nacional de Jacundá, Rondônia, Brasil.21
- Tabela 2.** Comprimento de cada tecla do xilofone modelo educativo, respectivos pontos nodais e notas.27
- Tabela 3.** Valores do coeficiente de amortecimento médio de sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.36
- Tabela 4.** Resultado da análise acústica dos xilofones produzidos com sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. Realizada pelos músicos profissionais em instrumentos de percussão.41

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|----|
| Equação 1. Variação da massa (%). | 23 |
| Equação 2. Densidade aparente (ρ_a). | 23 |
| Equação 3. Velocidade de propagação sonora (m/s). | 24 |
| Equação 4. Módulo de elasticidade dinâmico (GPa). | 25 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|------------------------------------|
| EMB | Escola de Música de Brasília |
| FLONA | Floresta Nacional |
| LPF | Laboratório de Produtos Florestais |
| MOEd | Módulo de Elasticidade dinâmico |
| SWT | <i>Stress Wave Timer</i> |
| SFB | Serviço Florestal Brasileiro |
| UnB | Universidade de Brasília |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | OBJETIVOS | 12 |
| 2.1 | Objetivo geral | 12 |
| 2.2 | Objetivos específicos..... | 12 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 3.1 | Uso da Madeira para Instrumento Musical | 13 |
| 3.2 | Propriedades Acústicas | 15 |
| 3.3 | Xilofone..... | 15 |
| 3.4 | Propriedades da Madeira Relevantes para Xilofones..... | 17 |
| 3.5 | Flona de Jacundá..... | 18 |
| 3.6 | Espécies Utilizadas no Trabalho | 19 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS | 21 |
| 4.1 | Preparação dos Corpos de Prova..... | 22 |
| 4.2 | Ensaio Não Destrutivo | 24 |
| 4.3 | Análise Estatística..... | 26 |
| 4.4 | Confecção das Teclas de Xilofone | 26 |
| 4.5 | Afinação dos Xilofones..... | 28 |
| 4.6 | Confecção das Bases dos Xilofones | 29 |
| 4.7 | Finalização da Confecção dos Xilofones..... | 30 |
| 4.8 | Questionário para Avaliação dos Xilofones | 31 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 32 |
| 5.1 | Resultados para os Ensaio não Destrutivo..... | 32 |
| 5.2 | Resultados da Análise Acústica dos Xilofones | 38 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 44 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 45 |

| | |
|----------------|----|
| Apêndice | 53 |
|----------------|----|

1 INTRODUÇÃO

As árvores, abundantes na face da Terra, desempenham um papel essencial na vida humana, direta ou indiretamente. Elas fornecem recursos necessários para subsistência, sendo empregadas na construção de abrigos, na fabricação de instrumentos facilitadores das atividades cotidianas e como fonte de alimento. Embora as características desse material o tornem útil para diversos propósitos. No entanto, é notável que certos produtos dependem exclusivamente das características das árvores, pois não são encontradas em outros materiais, como a manufatura de instrumentos musicais e peças de decoração.

A utilização da madeira como material para instrumentos musicais teve sua origem em um processo empírico baseado em tentativa e erro. Inicialmente, observou-se esse emprego predominantemente em instrumentos de sopro, evoluindo posteriormente para instrumentos de percussão, corda e assim sucessivamente (WEGST, 2006). Ao longo dos séculos, por meio da análise sistemática e do esforço dos luthiers, foi possível identificar que para determinados instrumentos musicais existem algumas espécies mais adequadas que retiram do instrumento sua máxima sonoridade, como os arcos de violino, construídos com madeira de pau-brasil (*Paubrasilia echinata*).

O Brasil, um país tropical, destaca-se por possuir uma das mais ricas diversidades ambientais do mundo. Todavia, a exploração de seus recursos madeireiros ainda se encontram centralizadas em poucas espécies, principalmente devido ao tradicionalismo dos consumidores.

O presente trabalho busca, por meio de análises acústicas e sonoras, recomendar novas espécies madeireiras para o uso em xilofones. Colocando em evidência o potencial da região amazônica quanto a existência de espécies úteis para fabricação de instrumentos musicais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de sete espécies de madeira da Amazônia brasileira para a manufatura de xilofones.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as propriedades acústicas das madeiras de *Allantoma decandra*, *Dipteryx magnifica*, *Dipteryx odorata*, *Erisma uncinatum*, *Handroanthus incanus*, *Martiodendron elatum* e *Peltogyne lecointei*, por meio de ensaios não destrutivos;
- Analisar xilofones construídos com estas madeiras quanto a sua sonoridade mediante análise por músicos profissionais.
- Propor o uso de novas espécies pouco conhecidas para a fabricação de xilofones.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Uso da Madeira para Instrumento Musical

No início, o estudo sobre os instrumentos musicais era conduzido no campo empírico, fazendo uso dos materiais disponíveis e os sentidos humanos. Isso era possível apenas devido a notável capacidade da madeira em responder sob a forma de som a estímulos e vibrações energéticas mecânicas (SLOTEN & SOUZA, 1987; ARAUJO 2002). Com os resultados obtidos, descobriu-se a aplicabilidade de diversas espécies de madeira para a construção de instrumentos musicais ou de suas partes. No entanto, ainda não existia explicação científica para o porquê de certa madeira conseguir se qualificar para um ou mais instrumentos musicais e outra ser completamente descartada.

Com o avanço tecnológico a análise das propriedades da madeira pôde alcançar cada vez mais profundidade, possibilitando conhecer mais desse material. Desse modo, com a obtenção de algumas características simples, como: densidade, coeficiente anisotrópico, grã, textura da madeira e tendência de rachar, acabou tornando-se possível perceber a viabilidade de conclusão sobre uma madeira ser adequada para determinado instrumento musical em função dessas propriedades, conforme evidenciado nos estudos de PEREIRA et al. (2009) e FERREIRA et al. (2015). No qual no primeiro foi feita a confecção de uma guitarra, baseou-se apenas na densidade, grã, estabilidade dimensional e usinabilidade da madeira. Já para o segundo, foram produzidas flautas a partir de seis espécies distintas, considerando a densidade, cor e tendência a rachar.

Contudo, mesmo com esses atributos, ainda não conseguem explicar o potencial de sonoridade de uma madeira. Por essa razão, novos aparelhos foram desenvolvidos para entender esse material de maneira mais significativa. Em consequência disso, novas propriedades da madeira que explicam seu comportamento foram acessadas, isto inclui: a análise microscópica para observar a estruturação interna considerando tamanho e frequência dos elementos anatômicos da madeira, seu diâmetro e espessura da parede; análise química para reconhecimento da constituição da madeira, e percentual de extrativos. Outras propriedades foram descobertas por meio da construção de aparelhos específicos, os quais possibilitam encontrar o módulo de elasticidade, a frequência natural, o decaimento logarítmico, entre outras características. A análise desses fatores pode enfim presumir a sonoridade de uma madeira (ONO & MORIMOTO, 1993; ANGYALOSSY et al., 2005; BRANCHERIAU et al., 2006; COSTA, 2017).

Conforme demonstrado, várias características e propriedades ajudam a qualificar ou desqualificar a madeira para utilização em determinado instrumento musical. A cor, embora seja um atributo visual, exerce influência na escolha tanto dos instrumentistas e quanto de luthiers (LONGUI et al., 2011). O desenho, quando presente, adiciona valor na madeira para qualquer que seja o seu fim (MADY, 2000, citado por FABRIS, 2017). Ressalta-se que, para instrumentos musicais, essa característica é ainda mais apreciada. A grã em conjunto com a densidade e porosidade atua sobre a usinabilidade da madeira e conseqüentemente no acabamento do produto e qualidade acústica (SOARES, 2014; MADY, 2000, citado por FABRIS, 2017).

A umidade da madeira atua sobre suas propriedades acústicas, resistência mecânica e comportamento higroscópico sendo influenciada pela textura (porosidade), densidade, teor de extrativos e umidade relativa do ar. De acordo com a movimentação na madeira decorrente da variação da sua umidade, um instrumento musical pode perder sua afinação, desalinhar algumas de suas partes ou empenar e, conseqüentemente reduzir a qualidade acústica. Por essa razão, recomenda-se que madeiras destinadas a instrumentos musicais tenham um percentual de umidade próximo de 6% ou adequado para a região onde o instrumento estará. Além disso, que sejam secas preferencialmente ao ar livre, gerando menos tensão na madeira proporcionando melhoria no decaimento logarítmico (SLOTEN & SOUZA, 1987; WEGST, 2006; REMADE, 2009; MARQUES et al.; 2014).

A densidade ainda opera sobre a resistência mecânica da madeira e quando combinada, essas duas propriedades permitem encontrar a velocidade de propagação sonora, outra propriedade amplamente utilizada em estudos de madeira voltados para instrumentos musicais. De acordo com SOARES (2014), madeiras mais duras tendem a vibrar em grau superior do que às menos densas, uma vez que, estas absorvem com maior eficácia o som, o que de acordo com MUCUDOS (2009) proporciona às teclas de marimba uma sonoridade doce, todavia, deformam e racham com maior facilidade perdendo, assim, afinação (HOLZ, 1996).

Os ensaios sobre a resistência mecânica da madeira, demanda tempo e recursos caros. Além disso, caso sejam realizados de forma destrutiva, inviabilizam o uso subsequente da madeira analisada. Em razão disso, o teste mais comum, e por vezes o único realizado, sobre a resistência da madeira é o de flexão estática. Por meio desse se adquire o módulo de elasticidade e de ruptura do objeto, útil para recomendação de uso da madeira em diversas áreas e para encontrar algumas propriedades acústicas.

Algumas espécies já são consagradas para uso em instrumentos musicais, como o Abeto/Spruce (*Picea spp.*), Maple (*Acer spp.*), Jacarandá (*Dalbergia spp.*), as quais são usadas como parâmetro de comparação para novas espécies a serem testadas (SOUZA, 2009). Quanto mais próximo das propriedades dessas “madeiras modelo”, aumenta-se a probabilidade dessa espécie possuir uma boa a excelente sonoridade.

3.2 Propriedades Acústicas

As propriedades acústicas adquiridas pela interação da densidade com o módulo de elasticidade incluem: a velocidade de propagação sonora, a impedância e o coeficiente de radiação sonora. É importante mencionar que apenas o coeficiente de amortecimento não é obtido por eles, mas, sim, pelo decaimento logarítmico ou fator de qualidade da madeira.

A velocidade de propagação sonora depende da densidade, do módulo de elasticidade e da integridade física da madeira. Pode ser compreendida como a velocidade com que a onda atravessa todo o objeto. Quanto maior seu valor mais frequências são alcançadas, o que reflete na sonoridade do material (WEGST, 2006).

A impedância pode ser definida como a habilidade de um material de transmitir suas vibrações para o ar ou para outro objeto (FLORES, 2015). Essa característica é extremamente importante para instrumentos de corda, em que as vibrações destas adentram o instrumento, interagem com a madeira no seu interior e, então, são devolvidas.

O coeficiente de radiação sonora é a capacidade do material de transformar o impacto ou excitação recebida em som, o qual, para instrumentos musicais, quanto maior for seu valor melhor será a qualidade musical, pois o som ressoará mais alto (FLORES, 2015).

O amortecimento é a dissipação do impacto recebido por meio de atrito interno, ele caracteriza o decaimento da amplitude de vibração (FLORES et al., 2018).

3.3 Xilofone

A origem do xilofone é africana, tratando-se de uma evolução do instrumento musical Balafoni (mesma metodologia, porém, com ressonadores feitos de cabaça). O termo xilofone é proveniente do grego e traduz-se como som da madeira. O desenvolvimento do xilofone ocorreu devido a necessidade de se encontrar um instrumento musical que possibilitasse excelente gravação sonora. Após sua confecção passou a ser mundialmente utilizado em orquestras e como instrumento para educação musical (CONSTANCE, 2022), Figura 1.

O xilofone é um instrumento musical de percussão da classe dos idiofones caracterizado por ser confeccionado em madeira, porém, apenas a base onde as teclas ficam apoiadas e o material que as prende pelos pontos nodais podem ser confeccionados utilizando-se outros objetos, como barras de metal para as bases e borrachas, cordas, elástico ou parafusos para os fixadores das teclas.

O som é produzido através do impacto sobre as teclas do instrumento, estas possuem comprimento de acordo com a nota a qual foi preparada para alcançar, conseqüentemente, cada uma com seu próprio comprimento, gerando ao corpo do instrumento forma semelhante a um trapézio. A disposição das teclas ocorre de forma ordenada da nota mais grave para a mais aguda onde a afinação é feita por desbaste da parte inferior das teclas formando um arco no centro para alcançar notas mais graves e/ou de suas pontas, também pela parte inferior, para alcançar notas agudas (SALÃO DE MÚSICA DE LISBOA, 2022).

Diferentes tipos de xilofones são utilizados de acordo com a finalidade desejada e capacitação do instrumentista. Na forma mais simples tem-se os xilofones modelo educacional ou infantil, os quais fazem parte dos instrumentos Orff, instrumentos musicais utilizados para introdução de crianças ao mundo da música (NUNES, 2020). Ademais, há os xilofones modelo estudante para pessoas com maior contato com esse instrumento. Por fim o modelo profissional de xilofone utilizados em orquestras e grandes eventos.



Figura 1. Imagem dos instrumentos musicais Balafoni (esquerda) e xilofones (centro e direita).

A diferença entre as classes de xilofone ocorre pela dimensão (comprimento, largura e espessura) e quantidade das teclas; pelo tipo de ressonador utilizado para prolongar o som após a batida na tecla (xilofone padrão educativo faz uso de caixas de madeira em torno de todo o instrumento, já os modelos estudante e profissional são compostos de tubos ressonadores exclusivos para cada tecla); e pela madeira empregue para a construção do instrumento (as espécies de melhor adequabilidade para xilofone são utilizadas prioritariamente no modelo profissional, as quais se encontram restritas a um pequeno número de gêneros, como as *Dalbergias* e *Pterocarpus*) (BRÉMAUD, 2012; WEGST, 2006; SOUZA, 2009).

A espécie de madeira influencia na qualidade sonora do xilofone, pois quanto mais apropriada for para o instrumento, melhor será a sua sonoridade e mais duradoura será o ressoar das teclas. No entanto, a escolha do tipo de baqueta é um ponto importante a ser considerado ao tocar o instrumento. Uma vez que, o comportamento das teclas, ao serem atingidas, muda de acordo com a dureza do material que as atinge, em razão de diferentes frequências serem estimuladas.

Dessa forma, para músicas mais rápidas e que exigem um som mais agudo/vivo, baquetas com pontas mais duras são as recomendáveis. Por outro lado, para músicas suaves, pontas macias são as melhores (WEGST, 2008). As baquetas podem ser confeccionadas com pontas de madeira, borracha, ebonite, plástico, lã e outros materiais (HENRIQUE, 2011).

O xilofone possui padrão semelhante a outros instrumentos musicais de percussão frequentemente empregados em orquestras, que apresentam corpo em formato análogo ao seu e que utilizam teclas, gerando confusão em quem não possui familiaridade. Entre os instrumentos musicais mais comumente confundidos com o xilofone estão o vibrafone e a marimba. O primeiro detém uma característica consideravelmente distinta: suas teclas são feitas de metal e não de madeira, gerando sons notavelmente mais altos e agudos que um xilofone. Enquanto o segundo instrumento também faz uso de teclas madeira as quais apresentam dimensões e quantidade maiores que as de um xilofone, além de ostentar extensos tubos ressonadores.

3.4 Propriedades da Madeira Relevantes para Xilofones

Entre as propriedades mais relevantes para madeiras utilizadas na produção de teclas de xilofone estão: a densidade, velocidade de propagação sonora e principalmente o amortecimento, além da importância das suas características anatômicas (HOLZ, 1996; BRANCHERIAU et al., 2006; WEGST, 2006; ARAKAMI et al., 2007).

A densidade é importante para a madeira que será aplicada na confecção de xilofones, pois permite que a mesma resista melhor aos impactos recebidos pelas baquetas sem rachar ou deformar, perdendo constantemente sua afinação (MUCUDOS, 2009). Ela também é importante, por estar correlacionada positivamente com o módulo de elasticidade e juntos atuarem sobre grande parte das propriedades acústicas da madeira.

A alta velocidade de propagação sonora permite alcançar maior volume sonoro no instrumento, além de acessar mais frequências, aumentando a riqueza acústica (FLORES,

2015). Para teclas de xilofone essa propriedade tem grande valor uma vez que o instrumento depende apenas do comportamento da madeira e do instrumentista.

O amortecimento é a propriedade acústica mais importante para as madeiras utilizadas em xilofones, pois ele incide sobre a contínua vibração das mesmas, e conseqüentemente sobre a produção, prolongação e qualidade sonora do instrumento. Em xilofones quanto menor for o amortecimento melhor tende a ser a sonoridade do instrumento, motivo esse que faz das madeiras de *Dalbergia* o suprassumo das teclas de xilofone.

Não menos importante, a estruturação anatômica e composição química da madeira interferem em todas as suas características, desde a cor, densidade até as propriedades mecânicas e acústicas. De acordo com os autores Brancheriau et al. (2006), o parênquima axial é a característica anatômica mais importante para madeiras usadas em xilofones. Ainda de acordo com esses autores, ele deve ser paratraqueal e não abundante, os raios devem ser pequenos, estruturalmente homogêneos e não numerosos, a madeira deve apresentar estratificação e as fibras devem possuir lume largos.

3.5 Flona de Jacundá

A Floresta Nacional (FLONA) de Jacundá foi criada por meio de decreto presidencial em 1 de dezembro de 2004, abrangendo uma área de 221.217,62 hectares localizada entre Porto Velho e Candeias do Jamari, na região Amazônica (Figura 2). O tipo de floresta predominante é Floresta Tropical Aberta ou Subcaducifólia Amazônica com pluviosidade anual média entre 2200mm e 2700mm. Decorrente dessa alta precipitação ao longo de séculos, originaram-se gleissolos em grande parte da região (WIKIPARQUES, 2023).

Em 2012, um pré-edital de concessão florestal foi divulgado para FLONA, e em 2014, o processo foi finalizado, sendo a empresa Madeflona Industrial Madeireira LTDA. escolhida como concessionária da área. Dos 221 mil hectares disponíveis, apenas 112 mil foram postos à concessão. No entanto, a área final concessionada foi de 87 mil hectares, com possibilidade de extração anual de 81 mil metros cúbicos de madeira (SFB, 2010).

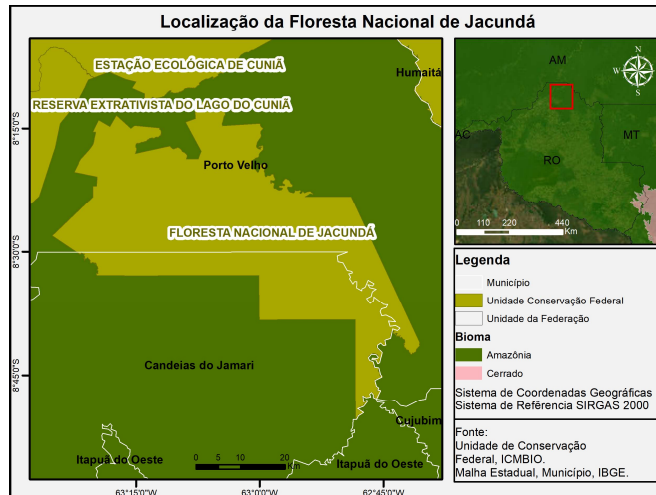


Figura 2. Localização da FLONA de Jacundá. Fonte: Roberto, Jonas.

3.6 Espécies Utilizadas no Trabalho

Jequitibá (*Allantoma decandra*) é espécie não endêmica no Brasil e ocorre em Florestas de Terra Firme com predominância em Rondônia, embora sua presença já tenha sido confirmada no Centro-Oeste e outros países, como Colômbia e Peru (REFLORA, 2023). A madeira de *A. decandra* possui densidade básica de 570,00kg/m³, teor de extrativo de 2,82%, em etanol-tolueno, e coeficiente anisotrópico de 1,34 (PIMENTEL et al., 2021; ROITMAN et al.(a), 2022; ROITMAN et al.(b), 2022). Esta espécie apresenta vasos de médio diâmetro, 100µm a 200µm, em baixa frequência dispostos de forma não definida, parênquima axial em faixas reticuladas e não demonstra estratificação (LPF, 2023).

Cumaru-ferro (*Dipteryx odorata*) é espécie não endêmica no Brasil com ocorrência na região Norte, Nordeste e Centro-Oeste do país (REFLORA, 2023). Sua madeira é altamente resistente ao ataque de organismos xilófagos devido à presença de extrativos e elevada densidade (STANGERLIN, 2012). A madeira de *D. odorata* apresenta densidade básica de 920,00kg/m³, teor de extrativo de 8,90%, em etanol-tolueno, e coeficiente anisotrópico de 1,48 (PIMENTEL et al., 2021; ROITMAN et al.(a), 2022; ROITMAN et al.(b), 2022). Exibe vasos com diâmetro inferior a 100µm com distribuição difusa dispostos de forma não padronizada e em parte obstruídos, parênquima do tipo paratraqueal aliforme linear ou paratraqueal aliforme losangular, além de estratificação (LPF, 2023).

Cumaru-rosa (*Dipteryx magnifica*) é espécie não endêmica no Brasil encontrada em Florestas de Igapó, de Terra Firme, Ombrófila e Campinarana com presença confirmada apenas na região Norte do país (REFLORA, 2023). A madeira de *D. magnifica* possui densidade básica de 820,00kg/m³, teor de extrativo de 8,33%, em etanol-tolueno, e coeficiente anisotrópico de

1,39 (PIMENTEL et al., 2021; ROITMAN et al.(a), 2022; ROITMAN et al.(b), 2022). A anatomia desta espécie pode ser descrita como: vasos com diâmetro inferior a 100µm com distribuição difusa dispostos de forma não padronizada e em parte obstruídos, parênquima do tipo paratraqueal aliforme linear ou paratraqueal aliforme losangular, além de estratificação (LPF, 2023).

Cedrinho (*Erisma uncinatum*) é espécie não endêmica no Brasil encontrada em Florestas de Terra Firme com presença confirmada no Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil (REFLORA, 2023). A madeira de *E. uncinatum* possui densidade básica de 550,00kg/m³, teor de extrativo de 2,68%, em etanol-tolueno, e coeficiente anisotrópico de 2,07 (PIMENTEL et al., 2021; ROITMAN et al.(a), 2022; ROITMAN et al.(b), 2022). Seus vasos apresentam-se em padrão não definido com diâmetro oscilando entre 100µm ou mais de 200µm, geralmente em baixa frequência e obstruídos, parênquima axial em faixas largas, além de não demonstrar estratificação (LPF, 2023).

Ipê (*Handroanthus incanus*) é espécie não endêmica no Brasil detectada em Florestas de Terra Firme, Floresta Ombrófila e em vegetação do tipo Campinarana com indivíduos distribuídos pela região Norte do país (REFLORA, 2023). A madeira de *H. incanus* possui densidade básica de 890,00kg/m³, teor de extrativo de 8,19%, em etanol-tolueno, e coeficiente anisotrópico de 1,04 (PIMENTEL et al., 2021; ROITMAN et al.(a), 2022; ROITMAN et al.(b), 2022). Além disso, apresenta vasos de pequeno diâmetro, menores que 100µm, dispostos de forma não definida com alta frequência e obstruídos, parênquima axial do tipo paratraqueal vasicêntrico, ou confluente em trechos curtos oblíquos, além de manifestar estratificação (CORADIN et al., 2010; LPF, 2023).

Tamarindo (*Martiodendron elatum*) é espécie não endêmica no Brasil apresentando distribuição dentro de Florestas de Igapó, de Terra Firme, de Várzea, Estacionais Semidecíduais e Ombrófilas, detectada na região Norte do país e partes do Centro-Oeste, assim como, na Venezuela, Peru e Bolívia (SIBBR, 2023; REFLORA, 2023). A madeira de *M. elatum* possui densidade básica de 850,00kg/m³, teor de extrativo de 8,04%, em etanol-tolueno, e coeficiente anisotrópico de 1,59 (PIMENTEL et al., 2021; ROITMAN et al.(a), 2022; ROITMAN et al.(b), 2022). Apresenta vasos de médio diâmetro, entre 100µm e 200µm, com distribuição difusa, baixa frequência, dispostos de forma não padronizada, parênquima paratraqueal aliforme losangular, paratraqueal confluyente ou em faixas marginais e estratificação (LPF, 2023).

Roxinho (*Peltogyne lecointei*) é espécie endêmica no Brasil encontrada em regiões de Floresta de Terra Firme e Floresta Ombrófila com distribuição apenas no estado do Pará

(REFLORA, 2023). A madeira de *P. lecointei* possui densidade básica de 860,00kg/m³, coeficiente anisotrópico de 1,71 e teor de extrativo de 11,58%, em etanol-tolueno, o que confere a mesma alta resistência a organismos xilófagos (PIMENTEL et al., 2021; ROITMAN et al.(a), 2022; ROITMAN et al.(b), 2022; REMADE, 2023). A madeira dessa espécie apresenta porosidade difusa com vasos de tamanho médio variando entre 100µm e 200µm dispostos de forma não padronizada, parênquima axial do tipo paratraqueal do tipo aliforme, confluyente em trechos curtos oblíquos ou em trechos longos tendendo a formar faixas, ou unilateral, porém, esta a madeira dessa espécie não apresenta estratificação (ROITMAN, 2021).

4 MATERIAL E MÉTODOS

As madeiras das árvores utilizadas no presente trabalho foram coletadas no ano de 2017 na Floresta Nacional de Jacundá, em um projeto de concessão florestal da empresa Madeflona Industrial Madeireira Ltda. As espécies são descritas na Tabela 1.

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

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

Fonte: Laboratório de Produtos Florestais - LPF (2023).

As madeiras foram conduzidas ao Laboratório de Produtos Florestais - LPF, do Serviço Florestal Brasileiro - SFB, localizado em Brasília. Posteriormente, foram armazenadas em um galpão para secagem natural, por período de um ano.

4.1 Preparação dos Corpos de Prova

O estudo foi desenvolvido na área de Engenharia e Física da Madeira do LPF. A preparação dos corpos de prova foi realizada na área de Carpintaria do LPF. Os corpos de prova confeccionados continham apenas cerne, com exceção da espécie Cedrinho, para a qual não havia material sobressalente, a parte da madeira escolhida era livre de defeitos. Não houve preferência quanto à orientação do corte da madeira (radial ou tangencial).

A dimensão estabelecida para os corpos de prova foi de 22cm x 2,3cm x 1,5cm (comprimento, largura e espessura, respectivamente), com 12 corpos de prova por espécie, um para cada tecla do xilofone. A confecção dos corpos de prova e maquinário utilizado podem ser observados na Figura 3.



Figura 3. Máquinas utilizadas para a confecção dos corpos de prova de sete espécies de madeira da Amazônia brasileira. A) Plaina desempenadeira; B) Serra circular esquadrejadeira; C) Plaina desengrosso; D) Serra meia esquadria. Fonte: Autor.

Após a confecção, os corpos de prova foram transferidos para uma sala de aclimação com temperatura ($22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa ($65\% \pm 3\%$) controladas, por um período de 30 dias, para estabilização do teor de umidade do material, em torno de 12% (Figura 4).



Figura 4. Acondicionamento dos corpos de prova de sete espécies de madeira da Amazônia brasileira, em sala de aclimação com temperatura e umidade controladas. Fonte: Autor.

Para verificação da estabilização do teor de umidade dos corpos de prova, foram realizadas pesagens periódicas por meio de balança digital da marca BEL, com capacidade de 3200g e resolução de 0,01g, conforme ilustrado na Figura 5. Esse processo foi repetido até que a diferença entre as duas massas fosse menor ou igual a 0,1% (Equação 1).

Eq. 1

$$VM = \frac{MA - MS}{MA} * 100$$

Onde:

VM = Variação da massa (%)

MA = Massa do dia anterior (g)

MS = Massa do dia seguinte (g)



Figura 5. Balança digital, utilizada para pesagem e determinação da massa dos corpos de prova. Fonte: Autor.

Após estabilização da massa, foram medidas as dimensões de cada corpo de prova por meio de um paquímetro digital da marca Mitutoyo, com resolução de 0,01mm, e régua milimetrada.

A densidade aparente foi calculada por meio da razão entre a massa encontrada no último dia da medição e o volume do corpo de prova. O resultado foi multiplicado por mil (Equação 2).

Eq. 2

$$\rho a = \left(\frac{Ma}{v} \right) \times 1000$$

Onde:

ρa = Densidade aparente (kg/m^3)

Ma = Massa atual (g)

v = Volume (cm^3)

4.2 Ensaios Não Destrutivos

Para realização dos ensaios não destrutivos utilizou-se dois equipamentos: *Stress Wave Timer* (SWT) da marca Metriguard, modelo 239 A, e Sonelastic da empresa ATCP Engenharia Ltda, Figuras 6 e 7, respectivamente.

A obtenção de dados por meio do SWT é realizada pela medição do tempo necessário para uma onda de tensão percorrer todo o objeto. Para isso, esse processo envolve dois transdutores associados a acelerômetros, presos por garras nas extremidades do objeto, fazem a conversão da energia, gerada pelo impacto de um pêndulo metálico, em sinal que ativa os acelerômetros.

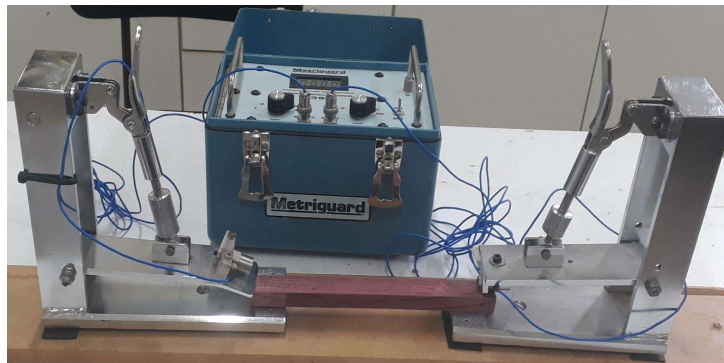


Figura 6. *Stress Wave Timer*, equipamento utilizado para medir o tempo de propagação da onda de tensão, gerada por impacto de um pêndulo metálico. Fonte: Autor.

Com base nos resultados obtidos por meio desse aparelho, dimensões do corpo de prova e sua respectiva densidade aparente, foi possível obter a velocidade de propagação sonora e o Módulo de Elasticidade dinâmico (MOEd) para todos os corpos de prova. Esses cálculos foram realizados utilizando as Equações 3 e 4, respectivamente.

Eq. 3

$$C = \frac{L}{t} \times 1000$$

Onde:

C = Velocidade de propagação sonora (m/s)

L = Comprimento do corpo de prova (mm)

t = tempo de propagação da onda de tensão (μs)

$$MOEd = C^2 \times \frac{\rho a}{100.000} \times 9,80665 \times 10^{-5}$$

Onde:

MOEd = Módulo de Elasticidade dinâmico (GPa)

C = Velocidade de propagação sonora (m/s)

ρa = Densidade aparente (kg/m³)

O equipamento Sonelastic segue os procedimentos propostos pela Norma ASTM E1876 (ASTM, 2005) para realização da técnica de excitação por impulso - IET. O equipamento permite a obtenção do MOEd, amortecimento e outras propriedades do corpo de prova por meio da análise das suas frequências vibracionais (captadas por um microfone), emitidas após excitação provocada pelo impacto de um pulsador automático.

Para a realização desse ensaio é necessário que o corpo de prova esteja o mais livre possível para maximizar sua vibração. Para tanto, são requisitadas as medidas do corpo de prova a fim de que o *software* indique seus pontos nodais, local de menor interferência vibracional, nos quais o corpo de prova deverá ser apoiado sobre o suporte. No presente estudo utilizou-se o suporte SA-BC.

Além disso, foi definido ao *software* a realização do ensaio do tipo modo de vibração flexional sobre os corpos de prova. O ensaio foi realizado pela excitação no centro de uma das faces do corpo de prova e a captação das frequências pela face oposta.

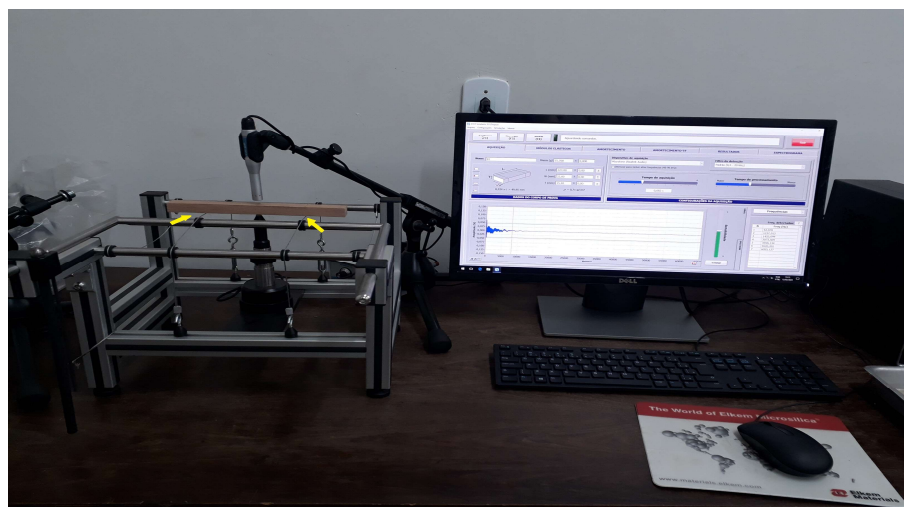


Figura 7. Equipamento Sonelastic com suporte SA - BC, utilizado para obtenção das propriedades acústicas no modo de vibração flexional, por meio da técnica de excitação por impulso. Setas em amarelo indicam os pontos nodais, onde a peça deve ser apoiada. Fonte: Autor.

Por meio do Sonelastic foi possível obter diretamente a velocidade de propagação sonora, MOEd e coeficiente de amortecimento para diversas frequências encontradas pelo equipamento. No entanto, no presente estudo, apenas a frequência fundamental (de maior pico) e seus respectivos resultados foram considerados e analisados.

O tempo de aquisição da captura de frequências foi de 0,683 segundos com faixa de aquisição de 0,5 a 20kHz. O coeficiente de Poisson sugerido pelo fabricante e utilizado para realização dos testes nas madeiras foi de $0,25 \pm 0,25$.

Para ambos os equipamentos utilizados (SWT e Sonelastic) foram realizadas três medições consecutivas e a média dos resultados.

4.3 Análise Estatística

A verificação de *outliers*, assim como da existência de diferença significativa ao nível de 5% entre as espécies, por meio da análise de variância - ANOVA, foram realizados com o uso do programa Excel. O teste de Tukey a 5% de significância foi executado pelo programa SPSS da IBM, para se encontrar entre quais espécies existia a diferença significativa para os parâmetros analisados. A plotagem dos gráficos foi realizada pelo *software* QtiPlot.

4.4 Confecção das Teclas de Xilofone

Posteriormente aos ensaios não destrutivos, os mesmos corpos de prova foram seccionados em diferentes comprimentos, para alcance das notas do instrumento, conforme especificado por YAMANA (2021) e seguindo o modelo comercializado pela empresa Jog Vibratom. Em seguida, as teclas foram marcadas nos seus pontos nodais, comprimento da peça vezes 0,224, nos quais ocorrerá a perfuração e posteriormente a ligação da tecla a base (Tabela 2).

Tabela 2. Comprimento de cada tecla do xilofone modelo educacional, respectivos pontos nodais e notas.

| Tecla | Comprimento (cm) | Pontos nodais (cm) |
|-------|------------------|--------------------|
| C6 | 21,6 | 4,8 |
| D6 | 20,6 | 4,6 |
| E6 | 19,6 | 4,4 |
| F6 | 19,2 | 4,3 |
| G6 | 18,4 | 4,1 |
| A7 | 17,6 | 3,9 |
| B7 | 16,8 | 3,7 |
| C7 | 15,8 | 3,5 |
| D7 | 15,2 | 3,4 |
| E7 | 14,2 | 3,2 |
| F7 | 13,4 | 3,0 |
| G7 | 12,3 | 2,7 |

Fonte: Adaptado de YAMANA (2021).

A perfuração dos pontos nodais ocorreu em duas etapas utilizando uma furadeira de bancada. Após a identificação dos pontos foi aberto um pré-furo na tecla, etapa um, atravessando-a por completo por meio de uma broca de aço rápido de 4mm de diâmetro. Na segunda etapa foi feita a perfuração de alargamento do orifício para possibilitar maior mobilidade da tecla e assim sua vibração. Desse modo, outra broca de maior diâmetro (9,5mm) foi utilizada para atravessar pouco mais de $\frac{2}{3}$ da espessura da tecla (Figura 8).

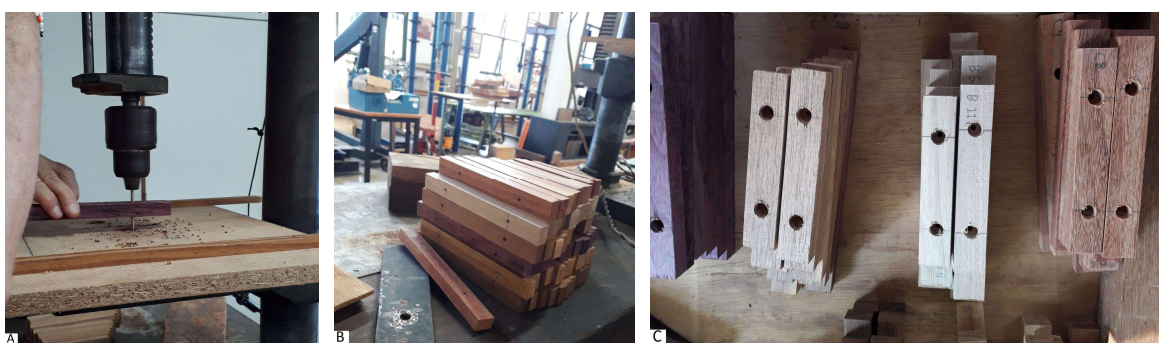


Figura 8. Processo de perfuração das teclas de xilofone. A) detalhe do pré-furo em furadeira de bancada; B) detalhe do furo na região dos pontos nodais; C) detalhe do alargamento do furo. Fonte: Autor.

4.5 Afinação dos Xilofones

O processo de afinação das teclas de xilofone ocorre por meio do desbaste até se atingir a nota desejada. Para sua realização, utilizou-se uma lixadeira de cinta da marca SKIL, em conjunto com um aplicativo de afinação gratuito disponível para Android, DaTunner (Figura 9).

A afinação foi realizada através de desbaste no centro da peça, pela sua parte inferior, para alcançar notas mais graves. Quando necessário, também foi realizado desbaste nas duas pontas para atingir notas mais agudas, também feito na parte inferior da tecla (Figura 10). Para alcance da nota desejada, desbastava e testava-se a tecla repetidas vezes no afinador, através de pequenas batidas sobre a tecla, com o processo sendo finalizado assim que o mesmo exibisse a nota desejada na cor verde, indicando a correta afinação (Figura 11).



Figura 9. Processo de desbaste das teclas por meio da lixadeira de cinta, para alcançar a afinação desejada. Fonte: Autor.

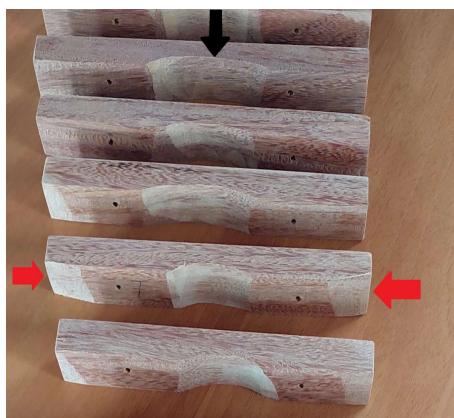


Figura 10. Resultado da afinação das teclas, cada qual com sua respectiva nota. Afinação no centro da tecla para alcance de notas mais graves, seta preta. Desbaste nas pontas para se chegar nas notas mais agudas, setas vermelhas. Fonte: Autor.



Figura 11. Teste de afinação das teclas de xilofone com auxílio do aplicativo DaTuner. Detalhe da pegada em forma de pinça nos pontos nodais da tecla. Fonte: Autor.

4.6 Confeção das Bases dos Xilofones

A base para os xilofones propostos, modelo educacional, foram construídas utilizando madeira de *Araucaria angustifolia* e *Dendrocalamus asper* (bambu gigante).

A madeira de *A. angustifolia* foi desdobrada em peças de 2cm x 2cm x 40cm com um dos lados sendo arredondado utilizando uma lixadeira de cinta. Já para o bambu, foram retiradas lascas arredondando-as até a espessura de 8mm por meio de um estilete e gabarito construído a partir do furo de uma chapa de ferro. Por fim, essas peças roliças de bambu foram segmentadas em pedaços de 11cm e 6cm, encaixados e colados nos furos feitos nas bases utilizando-se adesivo PVAc da marca Titebond Ultimate (Figuras 12 e 13).



Figura 12. Desdobro de *Dendrocalamus asper*, para confecção das peças roliças utilizadas na ligação entre as barras de *Araucaria angustifolia*. A) *D. asper* parcialmente recortado; B) Transformação das tiras de *D. asper* em peças roliças; C) Gabarito pelo qual ocorreu o ajuste de espessura das peças roliças. Fonte: Autor.

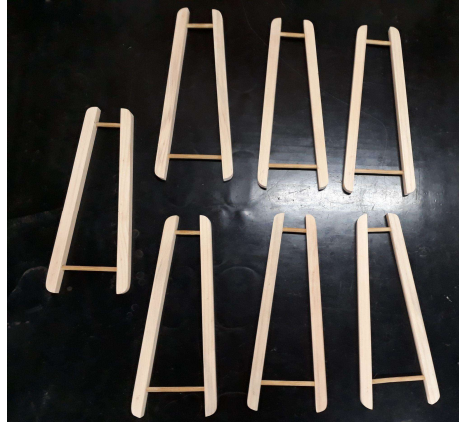


Figura 13. Bases de xilofone padrão educacional confeccionadas durante a realização do trabalho. Fonte: Autor.

4.7 Finalização da Confeção dos Xilofones

A fixação das teclas à base foi feita por meio de parafusos do tipo panela de 2,8mm x 20mm (diâmetro e comprimento, respectivamente). Para impedir o contato direto da tecla com a base, permitindo assim maior vibração, colocou-se um disco de borracha de 5mm de espessura abaixo de cada tecla. Este foi recortado utilizando-se um perfurador de couro oco (Figura 14). Para diminuir o contato do xilofone com a superfície e assim interferência na sonoridade foram colocados semicírculos de silicone na parte inferior da base do instrumento (Figura 15).

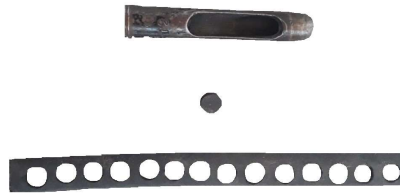


Figura 14. Detalhe do perfurador de couro oco utilizado para recortar o disco de 5mm de espessura no formato circular. Fonte: Autor.

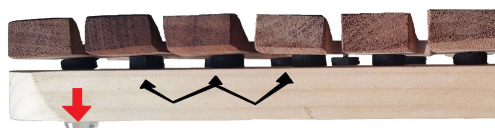


Figura 15. Fixação das teclas de xilofone na base com parafuso. Detalhe dos discos de borrachas postos embaixo de cada tecla de xilofone para diminuir o contato entre a base e teclas, setas pretas. Detalhe de peça de silicone colada na parte inferior das bases, seta vermelha. Fonte: Autor.

4.8 Questionário para Avaliação dos Xilofones

A análise de sonoridade dos xilofones ocorreu dentro da área de Engenharia e Física da Madeira do LPF, em sala reservada e a portas fechadas. A avaliação foi realizada por três músicos profissionais em instrumentos de percussão. Sendo um professor de percussão do Departamento de Música da Universidade de Brasília - UnB, um aluno de pós-graduação do mesmo departamento e um professor de percussão da Escola de Música de Brasília –EMB (Figura 16).



Figura 16. Profissionais em instrumentos de percussão avaliando os xilofones desenvolvidos no projeto, usando como comparação um xilofone comercial padrão educacional da empresa Jog Vibratom. Fonte: Autor.

Os músicos não foram informados sobre os nomes das espécies para evitar influência nos resultados, devido ao conhecimento prévio sobre determinada espécie. Portanto, a identificação das mesmas foi feita por meio de letras que variaram de A a G. Para a análise, foram disponibilizados três pares distintos de baqueta para xilofone e um xilofone modelo educacional comercializado pela empresa Jog Vibratom, que serviu como instrumento de comparação. Cada avaliação ocorreu em horários distintos para evitar interferência de opinião.

Um questionário foi elaborado em colaboração com os avaliadores, abordando questões sobre a sonoridade dos xilofones construídos, além de outras perguntas, como a recomendação ou não do instrumento para fabricação comercial (Apêndice 1).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram organizados em duas partes: a primeira inclui resultados das propriedades acústicas das madeiras, obtidos por meio de ensaios não destrutivos, e a segunda compreende resultados provenientes das avaliações realizadas por músicos sobre os xilofones confeccionados (Figura 17).



Figura 17. Xilofones padrão educacional confeccionados a partir do desdobro de madeira de sete espécies da Amazônia brasileira. Fonte: Autor.

5.1 Resultados para os Ensaios não Destrutivos

A partir dos resultados obtidos *outliers* foram observados, no entanto, optou-se por não os considerar, devido a pequena presença encontrada em apenas algumas espécies. Em alguns casos, por vezes dois ou menos indivíduos entre doze de uma espécie apresentavam valores fora dos limites.

A densidade aparente média das espécies analisadas variou entre $696,00\text{kg/m}^3$ para o Cedrinho a $1076,00\text{kg/m}^3$ para o Cumaru-ferro. Diante da significativa disparidade encontrada entre as densidades aparentes, as espécies foram separadas em dois grandes grupos, com Cedrinho e Jequitibá no grupo de menor densidade aparente, e as demais espécies no segundo grupo. Para o teste de Tukey a 5% de significância as mesmas foram separadas em cinco grupos como se observa na Figura 18.

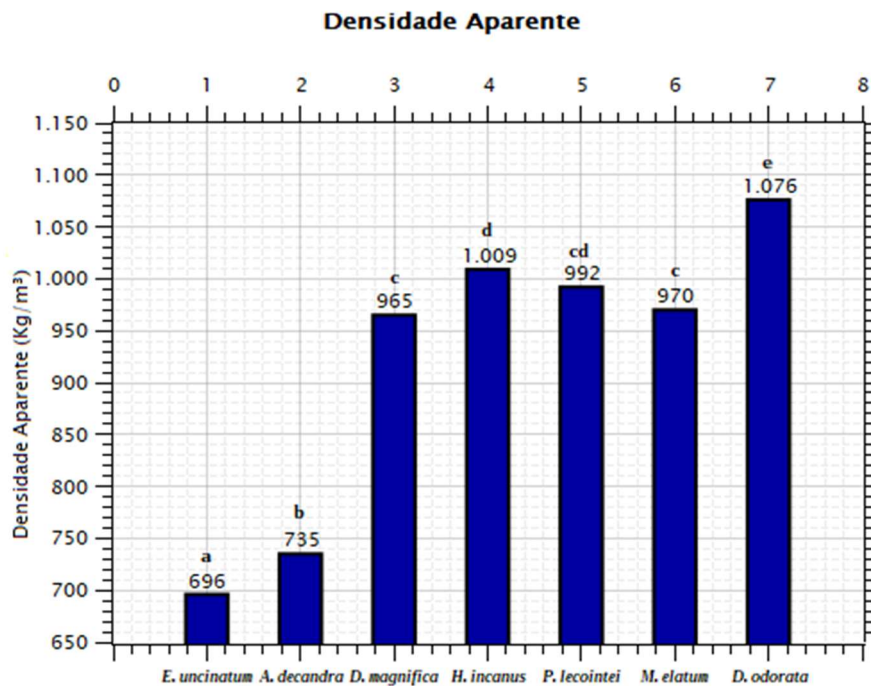


Figura 18. Densidade aparente média para sete espécies da Amazônia brasileira. Letras distintas entre barras indicam diferença significativa entre as espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Elaboração própria.

Por meio do Stress Wave Timer, foram obtidos o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) e a velocidade de propagação sonora para cada espécie do estudo. Com o Sonelastic a frequência fundamental e a partir dessa o MOEd, a velocidade de propagação sonora e o coeficiente de amortecimento.

A frequência fundamental das espécies variou de 1345,56Hz para o Roxinho a 1546,40Hz para o Jequitibá, refletindo proporcionalmente na velocidade de propagação sonora, com exceção das madeiras de Jequitibá. Por meio do teste Tukey ($p < 0,05$), as espécies foram agrupadas em 3 grupos distintos (Figura 19).

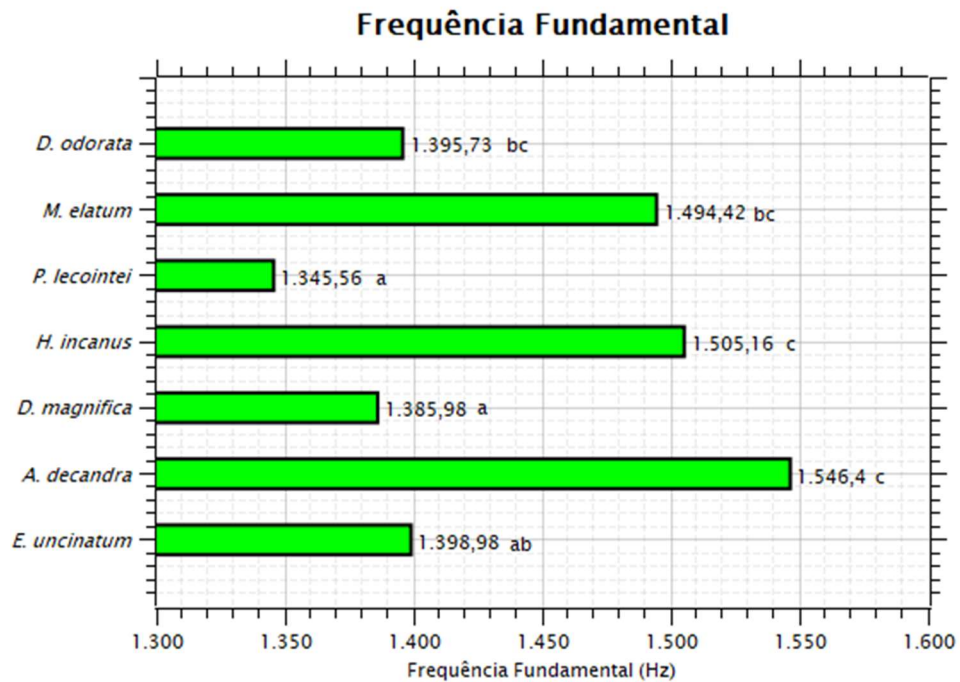


Figura 19. Frequência fundamental média para sete espécies da Amazônia brasileira. Letras distintas entre barras indicam diferença significativa entre as espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Elaboração própria.

Devido à natureza distinta dos dois equipamentos utilizados, foram observadas diferenças nos resultados obtidos pelo SWT e Sonelastic. Apesar disto, a tendência comportamental quanto ao MOEd para as espécies estudadas foi consistente entre os dois equipamentos, com separação em 5 grupos distintos de acordo com o teste Tukey ($p < 0,05$), Figura 20.

Os valores de MOEd variaram de 12,53GPa para o Cedrinho a 17,89GPa para o Ipê para o equipamento SWT e de 14,23GPa a 22,86GPa, respectivamente para as mesmas espécies, para o Sonelastic. Notavelmente, os resultados obtidos por meio deste último equipamento demonstraram uma maior proximidade com os encontrados por ROITMAN (2021).

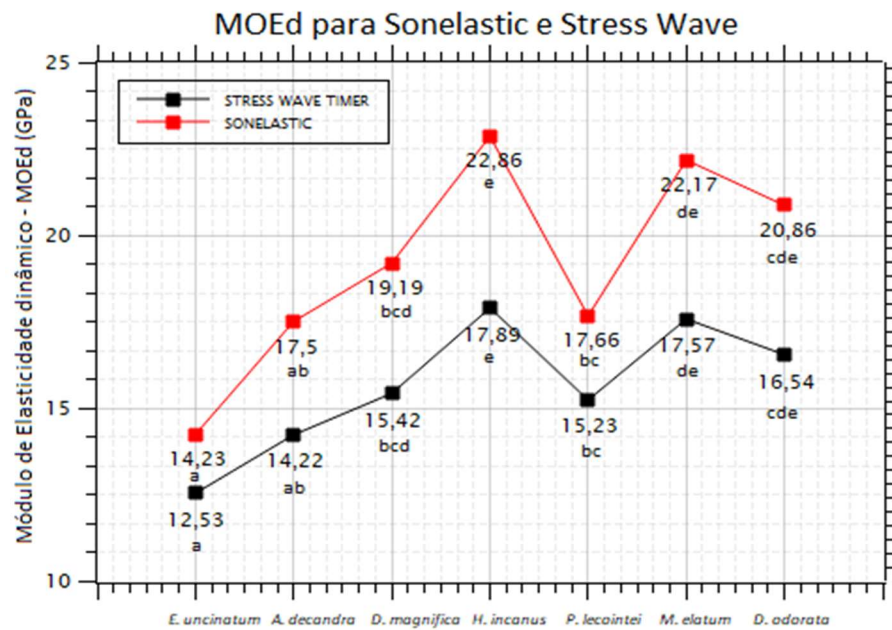


Figura 20. Comportamento do Módulo de Elasticidade dinâmico - MOEd médio de sete espécies de madeira da Amazônia brasileira obtidos por ensaios não destrutivos. Letras diferentes nos pontos indicam diferença significativa entre as espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Elaboração própria.

Para a velocidade de propagação sonora foi identificada diferença significativa nos resultados encontrados entre os dois equipamentos, além de variação na posição classificatória das espécies, tanto dentro dos grupos como entre espécies, exceto para as duas de maior velocidade de propagação sonora (Jequitibá e Tamarindo). As espécies foram agrupadas em 3 grupos de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

A velocidade de propagação sonora oscilou de 3948,04m/s para o Cumaru-ferro a 4432,49m/s para o Jequitibá para o equipamento SWT e de 4616,91m/s para o Roxinho a 5334,99m/s para também o Jequitibá para o equipamento Sonelastic (Figura 21). Em relação ao trabalho de ROITMAN (2021), mais uma vez os resultados adquiridos com o SWT apresentaram menor correspondência do que os obtidos através do Sonelastic.

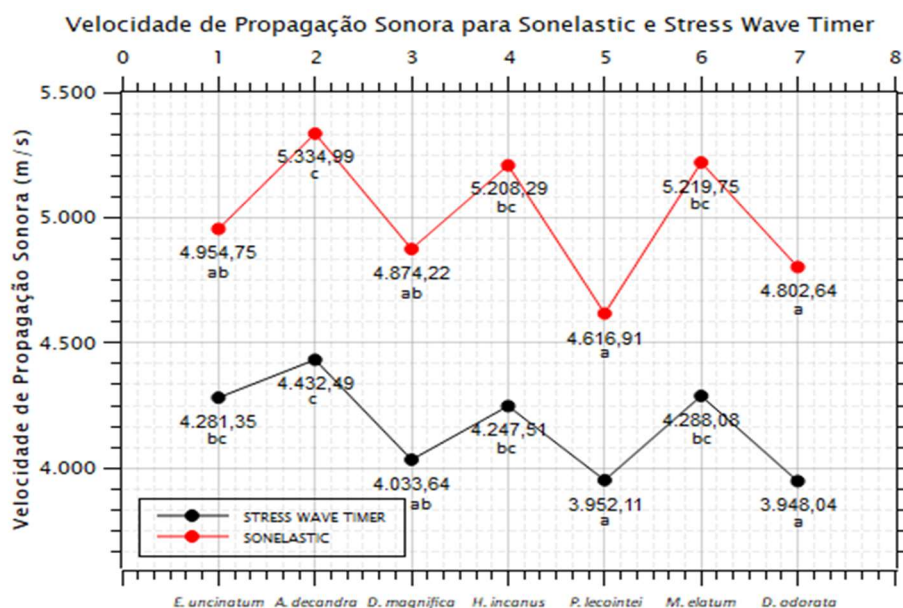


Figura 21. Comportamento da Velocidade de Propagação Sonora média de sete espécies de madeira da Amazônia brasileira obtidos por ensaios não destrutivos. Letras diferentes nos pontos indicam diferença significativa entre as espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3 apresenta o coeficiente de amortecimento médio para as espécies estudadas, obtidos por meio do equipamento Sonelastic. Esses resultados são também ilustrados na Figura 22 onde pode-se observar uma melhor distinção comportamental existente entre as espécies de alta densidade e as de média densidade, em relação ao coeficiente de amortecimento. Ainda na Figura 22, destaca-se que a espécie Roxinho, apesar de elevada densidade, apresentou o maior valor de coeficiente de amortecimento, em razão, possivelmente, do seu alto teor de extrativos.

Tabela 3. Valores do coeficiente de amortecimento médio de sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.

| Espécie | Coeficiente de amortecimento |
|---------------------|------------------------------|
| <i>H. incanus</i> | 0,005062 a* |
| <i>M. elatum</i> | 0,005844 ab |
| <i>D. magnifica</i> | 0,006313 abc |
| <i>D. odorata</i> | 0,007442 bcd |
| <i>A. decandra</i> | 0,008109 cd |
| <i>E. uncinatum</i> | 0,008207 cd |
| <i>P. lecointei</i> | 0,008497 d |

* Letras distintas na coluna representam diferença significativa pelo teste Tukey ($p < 5\%$). Fonte: Elaboração própria.

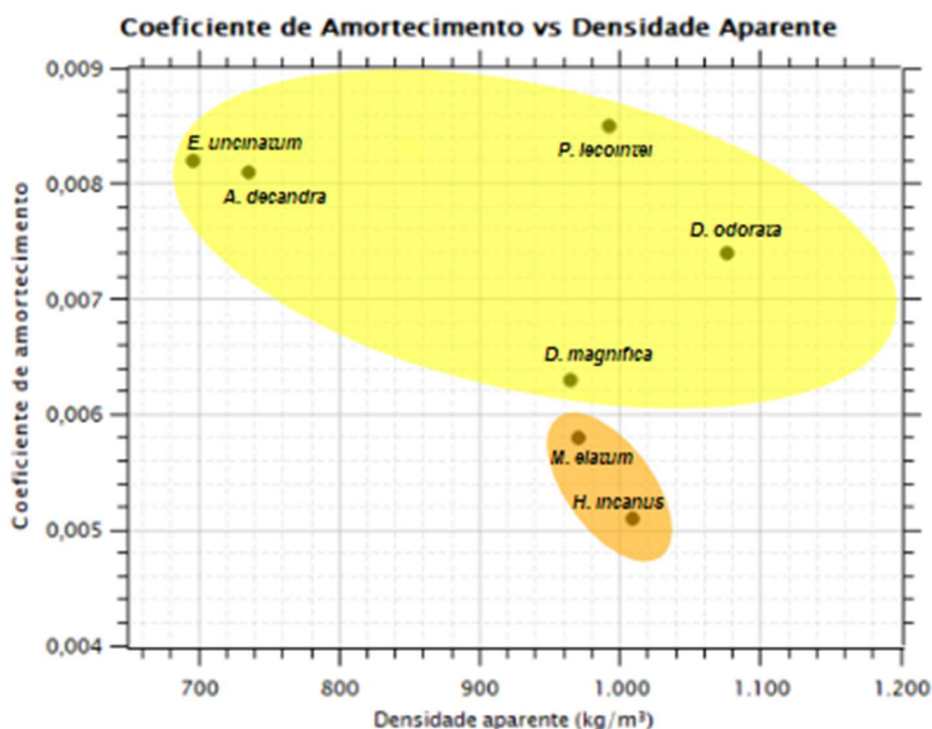


Figura 22. Coeficiente de amortecimento médio por densidade aparente média de sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira, obtidas pelo equipamento Sonelastic. Fonte: Elaboração própria.

Os resultados encontrados para o coeficiente de amortecimento das espécies analisadas variaram de 0,0050 a 0,0085, valores estes baixos e dentro do intervalo observado para madeiras tropicais (BRÉMAUD et al., 2012), porém, fora dos valores encontrados em madeiras utilizadas para a produção de teclas de xilofone de acordo com o estudo de WEGST (2008), entre 0,0035 e 0,0045.

TRAORÉ et al. (2010), encontraram valores de coeficiente de amortecimento entre 0,008 e 0,01 para a madeira de *Pterocarpus erinaceus*, espécie mais consumida para a produção de xilofones em Mali, África. Isso demonstra que apenas uma característica não é fator determinante para inclusão ou exclusão de uma espécie para produção de xilofones, embora esta seja a característica mais importante para esse tipo de instrumento (ARAMAKI et al., 2007; BRÉMAUD, 2012).

As espécies Cedrinho e Jequitibá demonstraram inadequação para fornecer teclas de xilofone devido a sua baixa densidade, de acordo com os valores propostos por HOLZ (1996) e WEGST (2008), os quais deveriam se encontrar no intervalo de 800kg/m³ a 1140kg/m³.

Apesar de contribuírem nas propriedades acústicas, como velocidade de propagação sonora, coeficiente de radiação sonora e impedância, BRANCHERIAU et. al (2006) argumentam que a densidade não influencia nas qualidades acústicas percussivas da madeira. O que pode ser observado em algumas espécies com média densidade que se encaixam, devido as suas propriedades acústicas, com aptas para a produção de xilofones e marimbas (MUCUDOS, 2009). Além disso, por esta propriedade estar ligada ao Módulo de Elasticidade, os resultados para essas espécies foram os menores, desclassificando ambas para a confecção de xilofones para o equipamento SWT, e apenas o Cedrinho para o equipamento Sonelastic, seguindo o critério dos referidos autores os quais propõem valores mínimos de 15GPa.

A madeira de Roxinho apesar de alta densidade apresentou o terceiro valor mais baixo de MOEd (15,23GPa) para o SWT e para o Sonelastic (17,66GPa), e o menor valor de velocidade de propagação sonora para o mesmo equipamento (4616,91m/s), além do maior coeficiente de amortecimento (0,0085). Apesar deste fato, todas as espécies analisadas apresentaram velocidade de propagação sonora recomendável para fabricação de teclas de xilofone segundo os dois equipamentos utilizados, de acordo com os valores médios propostos por WEGST (2008), entre 3650m/s a 4500 m/s.

É interessante observar que YAMANA (2021), ao investigar a madeira do gênero *Peltogyne* para uso em teclas de xilofones, obteve resultado similar ao encontrado no presente estudo para o MOEd e velocidade de propagação sonora (15,34GPa e 3993m/s, respectivamente).

5.2 Resultados da Análise Acústica dos Xilofones

Os resultados da análise acústica dos xilofones confeccionados, conduzida pelos músicos, estão detalhados na Tabela 4. Em alguns dos tópicos, houve divergência de opiniões entre os avaliadores. Portanto, a opinião majoritária foi destacada, indicando-se dois asteriscos ao lado. No que diz respeito aos tópicos que envolvem a comparação com o xilofone comercial e recomendação para fabricação, considerou-se a resposta com maior frequência entre os avaliadores. A nota de qualidade dos xilofones produzidos foi obtida pelo somatório dos valores atribuídos pelos três avaliadores, com possibilidade de nota mínima 3 e máxima 30.

Tabela 4. Resultado da análise acústica dos xilofones produzidos com sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira. Realizada por músicos profissionais em instrumentos de percussão.

| Espécie/ Tópico | Cedrinho | Jequitibá | Cumaru-rosa | Ipê | Roxinho | Tamarindo | Cumaru-ferro |
|------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | (A) | (B) | (C) | (D) | (E) | (F) | (G) |
| Reverberação | Média a Boa ** | Média a Boa ** | Boa a Muito Boa ** | Boa a Muito Boa ** | Média ** a Muito Boa | Boa a Muito Boa ** | Boa ** a Muito Boa |
| Projeção sonora | Ruim a Boa ** | Média ** a Boa | Boa a Muito Boa ** | Boa a Muito Boa ** | Média a Muito Boa ** | Muito Boa * | Boa a Muito Boa ** |
| Qualidade ● | Média ** a Boa | Ruim a Boa ** | Boa a Muito Boa ** | Boa a Muito Boa ** | Média ** a Muito Boa | Muito Boa * | Boa ** a Muito Boa |
| Afinação | Média ** a Boa | Média ** a Boa | Boa a Muito Boa ** | Boa a Muito Boa ** | Média ** a Muito Boa | Boa a Muito Boa ** | Média a Muito Boa *** |
| Comparação modelo comercial | Inferior ** | Inferior ** | Superior ** | Semelhante ** | Inferior ** | Superior ** | Superior ** |
| Recomendação | Não ** | Não ** | Sim * | Sim * | Sim ** | Sim * | Sim * |
| Qualidade ●● | 18 | 19 | 26,5 | 27 | 22 | 28 | 27 |

As letras A, B, C, D, E, F e G representam como as espécies foram apresentadas aos músicos. ● – Qualidade sonora do instrumento. ●● – Qualidade total do instrumento. * - Opinião unânime. ** - Mesma opinião observada para dois avaliadores. *** - Opiniões distintas entre os avaliadores.

As propriedades das madeiras analisadas neste estudo e os seus valores obtidos foram cruciais para classificar as espécies em termos de qualidade do xilofone. O que foi comprovado pela avaliação acústica realizada pelos músicos, pois as madeiras que apresentavam valores fora do recomendado ou no seu limite para mais de uma dessas propriedades, seja físicas, mecânicas, ou acústicas, demonstraram o pior desempenho sonoro. É relevante destacar que o proposto por BRANCHERIAU et al. (2006), em relação a estruturação anatômica da madeira mostrou-se verdadeiro para as espécies analisadas neste estudo. Já que, todas as espécies que foram consideradas de boa qualidade sonora e recomendadas para a fabricação comercial possuem parênquima axial do tipo paratraqueal e estratificação dos raios, com exceção do Roxinho, que também possui parênquima do tipo paratraqueal, mas não apresenta estratificação, demonstrando entre as espécies qualificadas os piores resultados.

Devido às suas propriedades, as espécies Jequitibá e Cedrinho não apresentaram um desempenho adequado durante o teste acústico, não sendo recomendadas para a confecção de xilofones padrão educacional. As demais espécies receberam uma boa classificação quanto a sonoridade do instrumento, com destaque para Tamarindo, que apresentou alto MOEd (17,57 GPa para o SWT e 22,17 GPa para o Sonelastic), a segunda maior velocidade de propagação sonora (4288,08 para o SWT e 5219,75 para o Sonelastic) e o segundo menor coeficiente de amortecimento (0,005844). Foi considerada pelos músicos a melhor madeira, entre as analisadas, para fabricação de xilofones padrão educacional.

Apesar do mais alto valor de coeficiente de amortecimento (0,008497) e a menor velocidade de propagação sonora para o equipamento Sonelastic (4616,91), o *Peltogyne lecointei* (Roxinho) foi recomendado pelos músicos, ainda que sem consenso unânime, para fabricação de xilofones padrão educacional. Curiosamente, o instrumento feito com essa madeira foi considerado pelos músicos como de qualidade inferior ao comercializado pela empresa Jog Vibratom. Cabe ressaltar que esta madeira, após tratamento térmico, aumenta a qualidade de suas propriedades acústicas podendo, desse modo, ser ainda mais recomendável para a confecção de xilofones, YAMANA (2021).

Os instrumentos musicais construídos durante o desenvolvimento do trabalho apresentaram uma notável semelhança com o modelo comercial, sendo, portanto, aprovados pelos músicos, ao menos no quesito estética e qualidade de construção.

A afinação realizada nas teclas de xilofone mostrou-se eficaz para o modelo educacional. A avaliação para este tópico, levando-se em consideração todas as espécies, foi de média a muito boa.

Os xilofones feitos com as espécies Cumaru-rosa e Cumaru-ferro foram avaliados como de qualidade superior ao xilofone comercial, e sendo, portanto, recomendados por opinião unânime para confecção. A madeira Ipê se mostrou ser bem qualificada em todas as propriedades estudadas no trabalho, refletindo-se na qualidade acústica do instrumento confeccionado com sua madeira, cujas avaliações e notas foram próximas às do xilofone de Tamarindo.

6 CONCLUSÕES

Das sete espécies de madeira estudadas, provenientes da região Amazônia, duas foram descartadas para fabricação de xilofone padrão educacional, *A. decandra* e *E. uncinatum* (Jequitibá e Cedrinho, respectivamente). As mesmas não apresentaram valores satisfatórios para a maioria das propriedades acústicas aqui analisadas.

Martiodendron elatum (Tamarindo) foi a espécie mais bem classificada para a produção de xilofones padrão educacional, entres as espécies estudadas.

Dipteryx magnifica (Cumaru-rosa) também foi recomendada, sendo este um aspecto positivo, por essa madeira não ser amplamente comercializada no mercado, como são as madeiras de *Handroanthus* e *Dipteryx odorata* (Ipê e Cumaru-ferro, respectivamente), também recomendadas para a confecção deste padrão de xilofone.

Houve êxito na confecção dos xilofones para todas as sete espécies estudadas para o modelo proposto.

Os xilofones estruturalmente foram aprovados pelos músicos. Em alguns casos, o instrumento como um todo foi considerado semelhante ou superior ao modelo comercializado, evidenciando que a manufatura desse modelo de xilofone é viável por meio dos passos propostos no estudo.

A avaliação da sonoridade dos instrumentos produzidos, realizada pelos músicos profissionais, permitiu a indicação de novas espécies de madeira para a confecção de xilofone padrão educacional.

Para os demais padrões de xilofone, recomenda-se a realização de outros estudos, tanto científicos como, principalmente, acústicos. Conforme indicado pelos músicos deste trabalho, à medida que as teclas do xilofone aumentam de tamanho, torna-se mais desafiador alcançar a

afinação desejada e o número de espécies que atingem a qualidade requerida para um xilofone tende a reduzir.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGYALOSSY, V.; AMANO, E.; ALVES, E. S. **Madeiras utilizadas na fabricação de arcos para instrumentos de corda: aspectos anatômicos.** Acta bot. bras. 19(4): 819-834. 2005. Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/abb/a/nmqVqy99rhhbPVbnrmXnmBdm/?format=pdf&lang=pt> >.
 Acesso em: 19 out. 2023.

ARAMAKI, M. et al. **Sound quality assessment of wood for xylophone bars.** J. Acoust. Soc. Am. 121 4, April 2007 p. 2406-2420. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/6357780_Sound_quality_assessment_of_wood_for_xylophone_bars >. Acesso em: 26 fev. 2023.

ARAUJO, 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.** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002, 184 p. Disponível em: <
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/496517/1/tesemschjba.pdf> >. Acesso em: 22 out. 2023.

BASTOS, N. **Instrumental Orff. Magia da música.** 2020. Disponível em: <
<https://www.ingentaconnect.com/content/dav/aaau/1996/00000082/00000006/art00009#>
<https://www.scielo.br/j/rmat/a/4jTGqJVKrrRkKw96TS8psLC/?format=html>
<https://interacoesucdb.emnuvens.com.br/multitemas/article/view/256/302>.
<https://www.scielo.br/j/aa/a/FPLFDpqNTpjBGSP4YgR4JSs/?lang=pt>.
<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/3408/pdf,https://magiadamusica.webnode.pt/carl-orff/instrumental-orff/> >. Acesso em: 1 jul. 2023.

BRANCHERIAU, L. et al. **Classifying xylophone bar materials by perceptual, signal processing and wood anatomy analysis.** INRA, EDP Sciences. 63 (2006) p.73–81. Disponível

em:<

https://www.researchgate.net/publication/41698087_Classifying_xylophone_bar_materials_by_perceptual_signal_processing_and_wood_anatomy_analysis>. Acesso em: 26 fev. 2023.

BRÉMAUD, I. **Acoustical properties of wood in string instruments soundboards and tuned idiophones: Biological and cultural diversity.** Journal of the Acoustical Society of America, Acoustical Society of America, 2012, 131 (1), pp.807-818. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/221780565_Acoustical_properties_of_wood_in_string_instruments_soundboards_and_tuned_idiophones_Biological_and_cultural_diversity >. Acesso em: 25 fev. 2023.

CARVALHO, C. S.; LIMA, H.C.; CARDOSO, D.B.O.S. Dipteryx in **Flora e Funga do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB22954> >. Acesso em: 05 fev. 2023.

CARVALHO, C.S.; LIMA, H.C.; CARDOSO, D.B.O.S. *Dipteryx in Flora e Funga do Brasil.* Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB83125>>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CONSTANCE, Colin. Xylophone vs MArimba A Tutorial & Performance. YouTube, 11 jun. 2022. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=K52OByklWac&t=820s> >.

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> >.

COSTA, J. A. **Classificação de madeiras da Amazônia para composição de instrumento musical de corda por meio da técnica de excitação por impulso.** UFAM, 2017. Disponível em: < <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5649> >. Acesso em: 10 de out. 2023

FABRIS, F. **MADEIRAS NATIVAS COM POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS DE CORDA: UMA REVISÃO DE LITERATURA.** UFRRJ, Reropédica, RJ. 2017. Disponível em: <<http://repositorio.im.ufrj.br:8080/jspui/handle/1235813/5306>>. Acesso em: 12 out. 2023.

FALCÃO, M.J.A.; Mansano, V.F. *Martiodendron in Flora e Funga do Brasil.* Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB23082>>. Acesso em: 12 jan. 2023.

FERREIRA, R. B. et al. **Flautas Transversais Renascentistas: história, construção e experimento com madeiras brasileiras.** Per Musi, Belo Horizonte, n.31, 2015, p.108-122. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pm/a/bM4dkzdnGxrBSGKJjR88L9w/?lang=pt&format=html>>. Acesso em: 13 out. 2023.

FLORES, A. L. L. **Análise de diferentes madeiras brasileiras em substituição às espécies tradicionais no violão clássico.** Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2015. 136p. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/38165>>. Acesso em: 24 out. 2023.

FLORES, A.; FLORES-SAHAGUN, T. H. S.; SARDÁ, A. A P. **Análise de madeiras no sistema mecânico vibracional (SMV) da caixa acústica do violão: análise do fundo.** XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica. Out. 2018. Porto Alegre – RS. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Andre-Flores/publication/327958095_Analise_de_madeiras_no_sistema_mecanico_vibracional_SMV_da_caixa_acustica_do_violao_analise_do_fundo/links/5c6eb850299b1e3a5bb85cc/Analise-de-madeiras-no-sistema-mecanico-vibracional-SMV-da-caixa-acustica-do-violao-analise-do-fundo.pdf> acesso em: 14 out. 2023.

HENRIQUE, L. L. **Instrumentos musicais - 9ª ed.** Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian, 2018. 481p. ISBN 978-972-31-1067-8. Disponível em: <<http://id.bnportugal.gov.pt/bib/bibnacional/2030902>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

HOLZ, D. **Acoustically important properties of xylophone-bar materials: can tropical woods be replaced by European species?** ACUSTICA. acta acustica vol. 82 (1996) p.878-884. Disponível em: < <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaau/1996/00000082/00000006/art00009> >. acesso em: 5 jan. 2023.

JOG VIBRATOM. Disponível em: < <https://jogvibratom.com.br/index/categoria/profissional/xilofone/> >. Acesso em: 3 nov. 2022.

LOHMANN, L.G. **Handroanthus in Flora e Funga do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB117446> >. Acesso em: 05 fev. 2023.

LONGUI, E. L.; LOMBARDI, D. R.; ALVEZ, E. S. **Six potential woods for bows of stringed instruments: organoleptic properties, machining and commercial availability.** Rev. Inst. Flor. v. 23 n. 2 p. 203-216 dez. 2011. Disponível em: < <https://www.semanticscholar.org/paper/Six-potencial-woods-for-bows-of-stringed-machining-Longui-Lombardi/be43e67df0ec213cb7fb74782e65a301161dba77> >. Acesso em: 22 out. 2023.

LPF; SFB; e MAPA. **Madeiras comerciais do Brasil: Chave interativa de identificação de madeiras.** Disponível em: < https://keys.lucidcentral.org/keys/v4/madeiras_comerciais_do_brasil/index_pt.html >. Acesso em: 20 jan. 2023.

MADY, F. T. M. **Conhecendo a madeira. Informações sobre 90 espécies comerciais.** Programa de desenvolvimento empresarial e tecnológico – SEBRAE/AM. 1ª ed. Manaus. 2000. 212p.

MARQUES, M. H. B. et al. **Efeito da secagem nas propriedades acústicas de marupá. (Simarouba amara Aubl) LPF/IBAMA.** Brasília, 31 agos. 2004. Disponível em: < <http://www.floram.periodikos.com.br/journal/floram/article/588e227be710ab87018b47c2> >. Acesso em: 13 out. 2023.

Martiodendron elatum in **Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBR)**. Disponível em: <https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/martiodendron_elatum>. Acesso em 13 jan. 2023.

MUCUDOS, C. L.F. **Utilização de madeiras nativas moçambicanas na produção de instrumentos musicais, estudo de caso: madeiras para marimba**. Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2009, 39.p. Disponível em: <<http://monografias.uem.mz/handle/123456789/2060>>. Acesso em: 11 out. 2023.

Peltogyne in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB78751>>. Acesso em: 13 jan. 2023.

PEREIRA, F. A. et al. **Qualidade da madeira para a produção de instrumentos musicais**. UNESP: Engenharia Industrial Madeireira. Itapeva – SP. XXI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 2009. Disponível em: <<https://cliqueapostilas.com/Content/apostilas/c8444f80ac12810c076155ff9ec26504.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2023.

PIMENTEL, T. S. **Resistência ao cisalhamento da linha de cola em madeiras tropicais amazônicas**. Scientia Forestalis, 49(132), 2021 p. 1-13. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/358197217_Resistencia_ao_cisalhamento_da_linha_de_colagem_em_madeiras_tropicais_amazonicas>. Acesso em: 25 jan. 2023.

REMADE. **Roxinho**. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/234/madeiras-brasileiras-e-exoticas/roxinho>> Acesso em: 12 jan. 2023.

REMADE - Revista da Madeira. **Instrumentos musicais**. Efeito da secagem nas propriedades acústicas. 2009. Disponível em: <https://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1391&subject=Instrumentos%20Musicais&title=Efeito%20da%20secagem%20nas%20propriedades%20acusticas>. Acesso em: 22 out. 2023.

ROITMAN, L. **Avaliação das propriedades de sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira para fabricação de instrumentos musicais.** Brasília - DF. 2021. p. 1-112. Disponível em: < <https://repositorio.unb.br/handle/10482/42566> > Acesso em: 31 out. 2023.

ROITMAN, L. et al.(b). **Estabilidade dimensional de sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.** V CBCTEM (2022). Disponível em: < <https://www.cbctem.com.br/submissao-trabalho/resumo/RUVrWW5aM2xEaFl6ZHUzSmtWeGpUdz09/> >. Acesso em: 10 jan. 2023.

ROITMAN, L. et al.(a). **Teor de extrativos de sete espécies de madeiras da Amazônia brasileira.** V CBCTEM (2022). Disponível em: < <https://www.cbctem.com.br/submissao-trabalho/resumo/UEdmQUIhU0ZSQ0k5bjA3czlVc2ZVZz09/> >. Acesso em: 10 jan. 2023.

SALÃO DE MÚSICA LISBOA. **Xilofone.** Disponível em <<https://www.salaomusical.com/pt/389-xilofones> >. Acesso em: 14 out. 2022.

SAMPAIO, D.; FORZZA, R.C.; VIEIRA, J.A. **Allantoma in Flora e Funga do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB36625>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

SHIMIZU, G.H.; SOUZA, L.F.; GONÇALVES, D.J.P.; FRANÇA, F. **Vochysiaceae in Flora e Funga do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB21574> >. Acesso em: 05 fev. 2023.

Serviço Florestal Brasileiro. **Audiências públicas discutem concessão florestal na Flona de Jacundá.** Disponível em: < <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/audiencias-publicas-discutem-concessao-florestal-na-flona-de-jacunda> >. Acesso em: 8 jan. 2023.

SLLOTEN, H. J.V.D; SOUZA, M. R. **AVALIAÇÃO DAS ESPÉCIES MADEIREIRAS DA AMAZONIA SELECIONADAS PARA A MANUFATURA DE INSTRUMENTOS MÚSICAIS.** INPA, 1987, 81p. Disponível em: < <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/5432> >. Acesso em: 11 out. 2023.

SOARES, M.A. **Produção de um violão clássico em madeira de Teca (*Tectona grandis*).**

UNESP, Itapeva, SP, 2014. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/items/f6b3f4ea-448c-42d6-a041-1424ae4560cd> >. Acesso em: 13 out. 2023.

SOUZA, M. H. **Madeiras utilizadas para a fabricação de instrumentos musicais.** LPF, Brasília, 158.p. Disponível em: < <https://mundoflorestal.com.br/arquivos/madeira-instrumentos-musicais111-%20segurar.pdf> >. Acesso em: 27 dez. 2022.

STANGERLIN, D.M. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores.** Universidade de Brasília - UnB, 2012, p.259. Disponível em: < <https://repositorio.unb.br/handle/10482/11252> >. Acesso em: 31 jan. 2022.

TRAORÉ, B. et al. **Acoustic quality of vene wood (*Pterocarpus erinaceus* Poir.) for xylophone instrument manufacture in Mali.** INRA, EDP Sciences, 2010 p. 1-7. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/48270247_Acoustic_quality_of_vene_wood_Pterocarpus_erinaceus_Poir_for_xylophones_instruments_manufacture_in_Mali >. Acesso em: 10 nov. 2022.

WEGST, U.G.K. **Bamboo and wood in Musical Instruments.** Annu. Rev. Mater. Res. 2008. p. 323-349. Disponível em: < www.annualreviews.org >. Acesso em: 25 fev. 2023.

WEGST, U.G.K. **Wood for sound.** *American Journal of Botany*. v.93. n.10. p.1439- 1448. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/52001722_Wood_for_sound>. Acesso em: 22 out. 2022.

WIKIPARKES. **Floresta Nacional de Jacundá.** Disponível em: <https://www.wikiparques.org/wiki/Floresta_Nacional_de_Jacund%C3%A1>. Acesso em: 8 jan. 2023. YAMANA, M.R.B. **Desenvolvimento de instrumentos musicais com madeiras modificadas.** Relatório técnico. Instituto Federal de Brasília. Pró-reitoria de pesquisa e inovação (PRPI). 25 p. Acesso em: 11 mar. 2023.

APÊNDICE



Laboratório de Produtos Florestais -LPF
Projeto de Iniciação Científica-PIBIC/CNPq

Questionário de Avaliação de Xilofones

Espécie:

Nome Avaliador:

1 - Utilizando o xilofone comercial como referência, como você avalia a reverberação das teclas consideradas em toda a tessitura do instrumento?

Ruim Média Boa Muito boa

2 - Utilizando o xilofone comercial como referência, como você avalia a projeção sonora das teclas consideradas em toda a tessitura do instrumento?

Ruim Média Boa Muito boa

3 - Como você avaliaria a qualidade sonora desse xilofone?

Ruim Média Boa Muito boa

4 - Como você avalia a afinação desse xilofone?

Ruim Média Boa Muito boa

5 - Em comparação ao xilofone comercial, esse é:

Inferior Semelhante Superior

6 - Você recomendaria esse xilofone para fabricação de xilofones do tipo educacional?

Sim Não

7 - Em uma escala de 1 a 10, como você avalia a qualidade do xilofone (sendo 1 péssima e 10 excelente)?