



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS DE ABSORÇÃO  
SONORA DE PAINÉIS DE FIBRA DE AÇAÍ E JUTA COM  
GEOMETRIAS SUPERFICIAIS PLANAS E NÃO PLANA**

**NAIANNY MATOS LIMA  
SARAH FABIANA BRASIL PEREIRA**

**Tucuruí – PA  
2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS DE ABSORÇÃO  
SONORA DE PAINÉIS DE FIBRA DE AÇAÍ E JUTA COM  
GEOMETRIAS SUPERFICIAIS PLANAS E NÃO PLANA**

**NAIANNY MATOS LIMA  
SARAH FABIANA BRASIL PEREIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título bacharel em Engenheiro Mecânico.

**Orientador:  
Prof. Dr Leopoldo Pacheco Bastos**

**Tucuruí – PA  
2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS DE ABSORÇÃO  
SONORA DE PAINÉIS DE FIBRA DE AÇAÍ E JUTA COM  
GEOMETRIAS SUPERFICIAIS PLANAS E NÃO PLANA**

**NAIANNY MATOS LIMA  
SARAH FABIANA BRASIL PEREIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título bacharel em Engenheiro Mecânico.

**Orientador:  
Prof. Dr Leopoldo Pacheco Bastos**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Orientador: Profº Drº Leopoldo Pacheco Bastos  
FEM/CAMTUC/UFPA

---

Membro Interno: Profº Me. Walter dos Santos Sousa  
FEM/CAMTUC/UFPA

---

Membro Interno: Profº Drº Wassim Raja El Banna  
FEM/CAMTUC/UFPA

**Conceito** \_\_\_\_\_

**Tucuruí, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de 2019.**

*A Deus, familiares e aos  
amigos...  
companheiros de todas as horas....*

## **AGRADECIMENTOS DE NAIANNY MATOS LIMA**

A Deus por minha vida, família e amigos.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A UFPA/CAMTUC, pela oportunidade de fazer o curso.

Ao professor Leopoldo Bastos, pela orientação, apoio e confiança.

## **AGRADECIMENTOS DE SARAH FABIANA BRASIL PEREIRA**

Agradeço à Deus, primeiramente, que me abençoou desde o primeiro momento em que passei no vestibular e sempre tem me dado força, fé e determinação para passar pelas adversidades desta longa jornada, me permitindo realizar esse grande sonho.

Aos meus pais, Décio Cezar Amaral Pereira e Elizete Brasil Pereira, que não mediram esforços me dando todo suporte necessário, e muito mais, para que hoje eu pudesse chegar até aqui. São minha inspiração. Palavras não conseguem descrever toda minha gratidão.

Ao meu marido, Paulo Francisco Carvalho Araújo, que sempre me impulsionou a buscar a realização dos meus sonhos, e sempre me deu suporte para conseguir passar pelas dificuldades durante o curso.

À minha amiga e parceira neste trabalho de conclusão de curso, Naianny Matos Lima, por todo esforço e companherismo durante esses anos.

Sou grata aos meus colegas de Faculdade que lutaram comigo todos os dias e foram essenciais para alcançar meus objetivos em cada etapa. Aos professores que acompanharam toda a minha trajetória dentro do curso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leopoldo Pacheco Bastos, por todo apoio e motivação em buscar novos conhecimentos.

À Universidade Federal do Pará que foi fundamental para a concretização desse sonho, me proporcionando a oportunidade obter minha formação acadêmica.

*“O projeto ideal não existe, a cada projeto existe a oportunidade de realizar uma aproximação”.*  
*(Paulo Mendes da Rocha).*

## **ESTUDO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS DE ABSORÇÃO SONORA DE PAINÉIS DE FIBRA DE AÇAÍ E JUTA COM GEOMETRIAS SUPERFICIAIS PLANAS E NÃO PLANA**

### **RESUMO**

*A população urbana tem vivido em constante exposição aos ruídos devido ao crescente e quase sempre desordenado processo de urbanização. Atualmente, a poluição sonora é o terceiro tipo de poluição que mais afeta o planeta, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), atingindo cerca de 120 milhões de pessoas no mundo. Os efeitos nocivos do ruído sobre o ser humano, abrangem prejuízos ao bem-estar físico, mental e social. Outros efeitos inconvenientes são percebidos em construções nos quais os critérios acústicos relacionados à absorção, isolamento e transmissão sonora não são adequadamente considerados, como em um ambiente com tempo de reverberação excessivamente elevado ou um isolamento sonoro deficiente, levando à interferências na compreensão da fala ou privacidade. Neste sentido, a busca por novos materiais, que possuam baixo custo de aquisição e produção, que promovam maior conforto sonoro, tem se intensificado nos últimos anos. Neste cenário, destacam-se algumas fibras vegetais, as quais têm sido utilizadas como matéria-prima na fabricação de painéis que apresentam bom desempenho acústico, no que se refere à absorção sonora, e outras características vantajosas (baixo custo de aquisição, não oferecem riscos à saúde humana nem ao meio ambiente, são provenientes de fontes renováveis, somente para citar algumas) em relação a materiais tradicionais como a lã de vidro e lã de rocha. No presente trabalho, foram investigados, em câmara reverberante em escala reduzida, painéis de fibras vegetais (açai e juta) com geometria superficial plana e não plana (com protuberâncias na superfície). Foi observado que, considerando a mesma espessura de painel, os painéis com geometria não plana apresentaram desempenho levemente superior em relação aos painéis de superfície plana, especialmente em médias e altas frequências (a partir de 1600 Hz) e isto é atribuído às protuberâncias na superfície. Finalmente, conclui-se que as alterações geométricas promovidas nos painéis com superfície não plana contribuiriam para aumentar a sua área de absorção efetiva, dando origem a painéis com desempenho acústico melhorado.*

**Palavras – Chave:** *Painéis de fibras vegetais, Desempenho acústico, Coeficiente de absorção sonora.*

# COMPARATIVE STUDY OF SOUND ABSORPTION CHARACTERISTICS OF AÇAÍ AND JUTA FIBER PANELS WITH FLAT AND NON-FLAT SURFACE GEOMETRIES

## ABSTRACT

*The urban population has lived in constant exposure to noise due to the growing and almost always disorderly process of urbanization. Currently, noise pollution is the third most polluting type that affects the planet, according to the World Health Organization (WHO), reaching about 120 million people worldwide. Harmful effects of noise on humans are detrimental to physical, mental and social well-being. Other disadvantageous effects are perceived in constructs in which acoustic criteria related to absorption, isolation and sound transmission are not adequately considered, such as in an environment with excessively high reverberation time or poor sound insulation, leading to interferences in speech comprehension or privacy. In this sense, the search for new materials, which have a low cost of acquisition and production, that contribute to acoustic comfort, has intensified in recent years. In this scenario, some vegetal fibers drawn attention, since they have been used as raw material in the manufacture of panels that present good acoustic performance, regarding sound absorption, and other advantageous characteristics (low acquisition cost, do not present risks to human health or to the environment, come from renewable sources, just to name but a few) in relation to traditional materials such as glass wool and rock wool. In the present work, panels of vegetable fibers (açai and jute) with flat and non-flat (with triangular shapes) surface geometry were investigated in a scale model reverberant chamber. It was found that, for the same panel thickness, the non-planar geometry panels presented slightly superior performance relative to the flat surface panels, especially at medium and high frequencies (from 1600 Hz), and this is attributed to protuberances in surface. Finally, it is concluded that the geometric changes made in the non-flat surface panels contributed to increase its effective absorption area, giving rise to panels with improved acoustic performance.*

**Keywords:** *Panels of vegetable fibers. Acoustic performance. Sound absorption coefficient.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1. (a) Açaizeiro (<i>Euterpe olerácea</i>) e (b) seus frutos.</b> .....	21
<b>Figura 2. (a) Planta de juta; (b) extração da fibra de juta.</b> .....	22
<b>Figura 3. Estrutura de materiais porosos e fibrosos</b> .....	25
<b>Figura 4. Materiais utilizados: (a) compressor, (b) molde e (c) pistola (utilizada na aplicação de cola branca).</b> .....	29
<b>Figura 5. Pistola de jateamento (utilizada na aplicação do látex).</b> .....	29
<b>Figura 6. Cola branca de madeira.</b> .....	30
<b>Figura 7. Látex pré-vulcanizado.</b> .....	30
<b>Figura 8. (a) e (b) Aplicação das camadas de fibras.</b> .....	32
<b>Figura 9. Aplicação do aglomerante.</b> .....	32
<b>Figura 10. (a) e (b) Secagem.</b> .....	33
<b>Figura 11. Equipamentos utilizados para os testes acústicos de validação da minicâmara do CAMTUC.</b> .....	37
<b>Figura 12. Desempenho acústico do painel de açaí plano.</b> .....	38
<b>Figura 13. Painel plano de açaí na câmara reverberante.</b> .....	39
<b>Figura 14. Desempenho acústico do painel de juta plano.</b> .....	39
<b>Figura 15. Painel plano de juta na câmara reverberante.</b> .....	40
<b>Figura 16. Desempenho acústico do painel de açaí com superfície não plana.</b> .....	40
<b>Figura 17. Painel de açaí com superfície não plana na câmara reverberante.</b> .....	41
<b>Figura 18. Desempenho acústico do painel de juta triangular.</b> .....	41
<b>Figura 19. Painel de juta com superfície não plana na câmara reverberante.</b> .....	42
<b>Figura 20. Comparação do desempenho acústico entre o painel de açaí com superfície plana e não plana.</b> .....	42
<b>Figura 21. Comparação do desempenho acústico entre o painel de juta com superfície plana e não plana.</b> .....	43
<b>Figura 22. Comparação do desempenho acústico entre o painel de açaí triangular e juta triangular.</b> .....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Dr<sup>o</sup> – Doutor

eq. – Equação

et. al. – E outros

ISO – International Organization for Standardization

MDF – Medium Density Fiberboard

Me. – Mestre

NR – Norma Regulamentadora

NRC – Noise Reduction Coefficient

OMS – Organização Mundial de Saúde

Prof<sup>o</sup> – Professor

PVA – Polyvinyl Acetate

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_a$  – Absorção sonora

bar – Unidade de pressão

$c$  – Velocidade do som

dB – Decibel

dB(A) – Intensidade do som percebida pelo ouvido humano

Hz – Hertz

lbf/pol<sup>2</sup> – Libra-força por polegada quadrada

m – Metros

m<sup>3</sup> – Metros cúbicos

min – Minutos

mm – Milímetros

Mpa – Megapascal

psi – Pound force per square inch

$S$  – Área superficial da amostra

$t$  – Tempo de reverberação média

$T$  – Temperatura

TR – Tempo de reverberação

$V$  – Volume

$\alpha$  – Coeficiente de absorção sonora

% – Por cento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 JUSTIFICATIVA .....	15
1.2 MOTIVAÇÃO E CONTRIBUIÇÃO .....	16
1.3 OBJETIVOS .....	17
<b>1.3.1 GERAL</b> .....	17
<b>1.3.2 ESPECÍFICOS</b> .....	17
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
2.1 FIBRAS .....	19
<b>2.1.1 FIBRA DE AÇAÍ</b> .....	21
<b>2.1.2 FIBRA DE JUTA</b> .....	22
2.2 PRODUTOS DERIVADOS DE FIBRAS VEGETAIS EMPREGADOS EM DIFERENTES APLICAÇÕES .....	23
<b>3 DESENVOLVIMENTO DOS PAINÉIS DE FIBRAS VEGETAIS E METODOLOGIA</b> .....	28
3.1 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DOS PAINÉIS .....	28
3.2 COMPATIBILIDADE DAS FIBRAS EM RELAÇÃO AOS AGLOMERANTES UTILIZADOS .....	28
<b>3.2.1 AGLOMERANTES</b> .....	30
<b>3.2.2 DESENVOLVIMENTO DOS PAINÉIS</b> .....	31
3.3 CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA .....	33
3.4 TEMPO DE REVERBERAÇÃO .....	35
3.5 CÂMARA REVERBERANTE .....	36
3.6 COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DOS PAINÉIS DE FIBRAS VEGETAIS	36
3.7 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DA CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DOS PAINÉIS .....	36

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	38
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	45
5.1	CONCLUSÕES .....	45
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	45
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

O som é uma onda mecânica que necessita de um meio material para se propagar. O som é produzido como resultado das oscilações das moléculas presentes no ar ao nosso redor. Tais oscilações originam regiões de compressão e rarefação, as quais são propagadas na forma de onda sonora. Os sons estão por toda parte e fazem parte do nosso cotidiano, e o maior responsável pela captação e interpretação desses sons é a audição (GOMES, 2015).

A audição é considerada por muitos como o mecanismo mais sensível do corpo humano e um dos sentidos mais complexos do corpo também, pois é por meio deste que os indivíduos desenvolvem habilidades para fala e linguagem. A audição humana é desenvolvida muito cedo, os bebês em fase de gestação já são capazes de memorizar os estímulos externos, e ao nascerem diferenciam a voz da mãe em detrimento de outras vozes (JABER, 2013).

Dessa forma sendo a audição um órgão tão sensível está susceptível a grandes danos em virtude da poluição sonora, podendo assim, conceituar poluição sonora como sendo um problema ambiental que afeta grande parte das sociedades industrializadas, e é caracterizada como um fenômeno acústico que produz uma sensação auditiva incômoda susceptível a alterar o bem estar das pessoas, o que pode ocasionar: stress, irritabilidade, perda de produtividade, e assim prejudicar o desempenho de atividades cotidianas, culminando em prejuízos para o indivíduo, emprego e família, quando em grande escala, os ruídos tem potencial de lesar fisicamente e psicologicamente os indivíduos (VIEIRA, 2008).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), no Brasil cerca de 15 milhões de pessoas já apresentam problemas de audição em virtude do excesso de exposição ao ruído. Os ruídos provenientes de fábricas, bem como ruídos produzidos no trânsito (buzinas, carros, escapamentos), oficinas de solda, indústrias metalúrgicas, marcenarias, etc, são todos ruídos prejudiciais que contribuem para poluição sonora (BASTOS, 2007).

Existem algumas leis que de alguma forma estão relacionadas ao controle de ruídos (NR6, NR7, NR15, NBR 1051, NBR 1052), porém muitos descumprem ou desconhecem tais normas, tal fato é resultado da falta de conscientização de empregados e empregadores, falta de campanhas de mobilização nacional, custos elevados para o correto controle de ruídos, etc, são fatores que agravam a situação do país e o bem estar das pessoas. (BASTOS, 2009).

Assim, este trabalho, objetivando contribuir com novas soluções de confecção de painel de baixo custo para o melhor controle acústico de ambientes, traz a utilização de fibras naturais de açai e juta em painéis acústicos visando de controle de tempo de reverberação e ruídos.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Em um tempo em que altos níveis de ruído fazem parte do cotidiano das pessoas, a necessidade de controlá-los não é somente evidente, mas providencial, uma vez que a poluição sonora é, no cenário atual, depois da poluição do ar e da água, o problema que afeta o maior número de pessoas (BASTOS, 2007). Diante desse cenário de poluição sonora, que é vivido no cotidiano das pessoas, e que é sem dúvida, algo incômodo e prejudicial à saúde e bem estar das mesmas, sendo necessário encontrar soluções-chaves para esses problemas. Estas soluções podem ser encontradas na fabricação de dispositivos acústicos que venham amenizar os ruídos sentidos no ambiente. Isso é possível, com a busca por novos materiais que apresentem boas características de absorção sonora e tenham baixo custo, pois a necessidade de reduzir custos e encontrar melhores soluções tem sido o foco principal de muitas empresas e isso faz com que muitas destas dêem preferência à utilização de fibras naturais (VIEIRA, 2008).

Nesse contexto, as fibras naturais são um recurso renovável por excelência com as mais diversas aplicações tais, como painéis acústicos, construção civil, naval, têxtil e muitas outras. Dessa forma, fibras naturais, tais como a juta e o açaí constituem materiais sustentáveis, já possuem aplicações correntes e outras aplicações ainda sendo pesquisadas. Pode-se citar que a agroindústria brasileira apresenta inúmeros resíduos com potencialidade de aproveitamento de novos materiais, tal como o caroço do açaí, que é produzido em grande quantidade no processo de extração da polpa do fruto e é descartado muitas vezes de forma inadequada diariamente, causando problemas ambientais e elevando o custos municipais para a coleta de lixo (MATTOSO et. al., 1996).

Uma das formas de aproveitamento é a extração das fibras no desenvolvimento de painéis (MESQUITA, 2013), em placas para utilização na construção civil, da confecção de móveis, de divisórias e painéis acústicos (BASTOS, 2009). As fibras naturais são um recurso renovável por excelência, quando comparadas às fibras artificiais, apresentam vantagens ecológicas, são biodegradáveis, renováveis e possuem carbono “free”, ou seja, quando são compostadas ou incineradas essas fibras liberam a mesma quantidade de dióxido de carbono que consomem durante seu desenvolvimento. Apresentam também vantagens sociais, pois geram empregos rurais, além de serem mais leves, resistentes e econômicas, e, conseqüentemente, são mais baratas, já que sua produção requer pouca energia (MESQUITA, 2013).

Cada recinto, conforme sua utilização, requer critérios bem definidos de Níveis de Pressão Sonora e de Reverberação para permitir o conforto acústico e/ou eliminar as condições

nocivas à saúde (controle de ruído). O campo sonoro de um ambiente é consequência de várias características, como dimensões, geometria da sala e absorção sonora de suas superfícies, absorção e difusão sonoras promovidas por objetos, potência e diretividade das fontes sonoras, entre outras (SOUZA, 2015). Com base em estudos e pesquisas, é sabido que as fibras vegetais possuem características acústicas satisfatórias quando utilizadas para absorção sonora. Comparações entre coeficientes de absorção sonora de fibras de coco, com diferentes densidades e espessuras e materiais absorvedores acústicos, foram feitas em câmara reverberante em escala reduzida, constatando-se que os painéis, em determinadas frequências, possuíam desempenho superior ao dos materiais acústicos convencionais (GUEDES, 2007).

Além de promover o controle de ruído e contribuir para o design acústico em ambientes fechados, os painéis de fibras vegetais possuem, em potencial, grande importância para a região que desenvolve essas atividades, uma vez que proporcionam um aumento na renda da população envolvida com a mão-de-obra necessária para elaborá-los em grande escala, desde a extração das fibras até os ensaios que devem ser realizados nesses painéis. Outra vantagem das fibras vegetais é a sua atoxidez. A espuma de poliuretano à base de isocianato, por exemplo, libera durante sua combustão um gás (gás cianídrico) altamente tóxico (MARROQUIM, 1994).

Dessa forma, o presente trabalho está inserido no contexto do desenvolvimento de novos materiais acústicos, procurando ampliar e aprofundar os trabalhos desenvolvidos anteriormente, pesquisando a respeito de materiais absorvedores de som não convencionais, e investigando a utilização destas fibras (açai e juta) em painéis acústicos, e o bom resultado destas fibras em painéis acústicos será comprovado pelos experimentos que serão desenvolvidos neste trabalho.

## 1.2 MOTIVAÇÃO E CONTRIBUIÇÃO

A Região Amazônica detém a maior biodiversidade do mundo, porém se apresenta com um potencial ainda pouco explorado. Pensando nessa diversidade e aliada as constantes mudanças tecnológicas, justamente para se adequarem à sustentabilidade é que se pensou na fabricação de painéis acústicos constituídos por fibras naturais, em virtude da grande riqueza da nossa região, e pelo fato de serem alternativas de baixo custo, ser fontes renováveis, possuírem baixa toxicidade e apresentarem excelentes propriedades termoacústicas.

Assim, a descoberta de tais propriedades acústicas, provenientes das fibras, só foi possível mediante estudo e investigação desses materiais. Com isso, o avanço desse conhecimento e aplicação tem se consolidado no mercado, já que painéis de fibras naturais tem se mostrado como uma alternativa extremamente competitiva com materiais tradicionais. No

entanto, os painéis presentes no mercado possuem superfície plana e este trabalho apresenta um estudo de painéis compostos por fibras naturais porém com protuberâncias superficiais o que traz inovação e conhecimento. Diante desse fato, percebe-se claramente as inúmeras oportunidades que se abrem na utilização desse material aliado à perspectiva de desenvolvimento.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Geral

Desenvolver painéis de fibras vegetais e determinar suas características de absorção com geometria superficial plana e não plana fabricados com fibras de açai e juta.

#### 1.3.2 Específicos

- Identificar método de fabricação e o aglomerante adequados para a fabricação dos painéis a serem desenvolvidos.
- Fabricar painéis individuais com fibras de açai e juta, com geometria superficial plana e não plana.
- Caracterizar os painéis desenvolvidos em câmara reverberante em escala reduzida, através da determinação do coeficiente de absorção sonora.

### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

- **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:** Neste capítulo é feito um levantamento bibliográfico sobre os trabalhos mais recentes e relevantes produzidos nessa área. São apresentadas também informações com as principais características das fibras em estudo, bem como a finalidade destas para o presente trabalho que é a fabricação de painéis acústicos com diferentes geometrias.
- **DESENVOLVIMENTO DOS PAINÉIS DE FIBRAS VEGETAIS E METODOLOGIA:** Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para a fabricação dos painéis, descrevendo-se os materiais utilizados no processo e a caracterização acústica dos painéis fabricados bem como descreve os equipamentos utilizados.

- **RESULTADOS E DISCUSSÕES:** Este capítulo traz os resultados de caracterização acústica dos painéis fabricados e os discute com maior detalhe.
- **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES:** Por fim, o capítulo final apresenta as conclusões do trabalho, relacionando-as com os objetivos propostos e estabelece recomendações para trabalhos futuros. As referências bibliográficas encerram o presente documento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 FIBRAS

Fibras naturais são matérias-primas fibrosas encontradas na natureza, que podem ser de origem animal, vegetal ou mineral. As de origem vegetal, são encontradas a partir de sementes, caules (talos, chamadas fibras moles), folhas (chamadas fibras duras), frutos e até mesmo de raízes. As fibras vegetais possuem algumas particularidades. Suas fibras são naturalmente interconectadas por aglutinantes, formando uma infraestrutura de sustentação (ERHART, 1975 - 1976).

As fibras naturais oferecem vantagens sobre as sintéticas, em termos de propriedades mecânicas e térmicas, uma vez que apresentam: baixa densidade, baixo consumo de energia, baixo custo, baixa abrasividade, atoxicidade e excelentes propriedades termoacústicas. Além disso, elas também possuem grande importância ecológica uma vez que são biodegradáveis; e ao contrário das fibras manufaturadas, sua obtenção e produção não demandam processos químicos de alto custo ambiental (GONÇALVES et. al., 2018).

Nesse contexto, as fibras vegetais são um recurso renovável por excelência com as mais diversas aplicações tais como na construção civil, naval, indústria têxtil, na área da saúde, entre muitas outras. As fibras vegetais podem ser utilizadas não somente para tecidos, mas também para fabricação de fios, cordames, tecidos, compósitos em substituição aos fabricados em madeira ou materiais sintéticos, sendo que o Brasil possui uma grande variedade de fibras naturais. Fibras vegetais, tais como juta, sisal, fibra de bananeira, coco e outras constituem materiais sustentáveis, já possuem aplicações correntes e outras aplicações ainda sendo pesquisadas. Por outro lado, muitas outras espécies vegetais brasileiras e suas respectivas fibras, pouco ou nada é conhecido sobre suas características e possíveis aplicações (GONÇALVES et. al., 2018).

A fibra vegetal apresenta maior perspirabilidade (capacidade de absorver umidade da transpiração humana), o que proporciona maior conforto, fator essencial para os motoristas que ficam longos períodos de tempos sentados. A geração de empregos rurais e industriais é outro aspecto importante do uso de fibras vegetais. Um assento de carro com fibra vegetal utiliza pelo menos quatro vezes mais mão de obra que o feito de espuma (MARROQUIM, 1994). Veículos de primeira linha de empresas no exterior, tais como a Mercedes bens da Alemanha utilizam estofamentos com fibras vegetais. Outra grande vantagem do uso de fibras vegetais é sua não toxidez. A espuma de poliuretano é a base de isocianato que libera durante a sua combustão o

gás cianídrico altamente tóxico (MATTOSO et. al., 1996).

Dessa forma, percebe-se que cada vez mais, os materiais compostos de fibras vegetais têm mostrado suas diversas aplicações na construção civil, na indústria de móveis e embalagens e em componentes automotivos (SILVA, 2003). A aplicação de materiais lignocelulósicos como um componente de reforço em compósitos poliméricos têm recebido uma maior atenção, particularmente por causa de seus baixos preços e peso específico, principalmente na indústria automobilística visto que existe um grande interesse em produzir veículos com todos os componentes recicláveis ou biodegradáveis. Outro fator importante para esta questão é o fato de que o uso de tais fibras podem reduzir o custo e o peso dos veículos (SILVA, 2003).

Adicionalmente, várias comunidades ribeirinhas e silvícolas da região do Amazonas ainda utilizam diferentes espécies de cipós para confecção de cestos para transporte de peixes, trançados rústicos em geral e amarelo para construção de curral de pesca. Já as folhas maduras de algumas palmeiras são utilizadas para cobertura de moradias assim como para a confecção de diferentes recipientes da cestaria e panos que são também utilizados nos currais de pesca. Isso mostra que a fibra vegetal em estado natural tem grande aplicabilidade nestas comunidades (FERREIRA, 2009).

Além disso, a utilização das fibras naturais oferece novas perspectivas de mercado em países de grande atividade agrícola como o Brasil. O país apresenta diversidade e disponibilidade de fibras e outros materiais lignocelulósicos que possuem grande potencial para este tipo de utilização, sejam por geração direta ou indireta, mas que ainda não o explora totalmente, o que traz prejuízos sociais, econômicos e tecnológicos do ponto de vista ambiental (FERREIRA, 2009).

Nesse sentido, a busca de novos materiais, preferencialmente os de origem natural, tornou-se crescente. Em virtude disso, a indústria agora busca priorizar a utilização dos materiais naturais; e como as fibras vegetais vem sendo estudadas durante alguns anos, já se é possível caracterizar bem suas propriedades e seus potenciais. Dessa forma, a indústria já disponibiliza de conhecimentos necessários para que se alcance o sucesso desejado para o uso de fibras naturais e isso pode ser feito com muito mais conhecimento e avanço tecnológico, o que pode permitir o seu melhor aproveitamento, juntamente com a constante busca por processos produtivos menos poluentes e eficazes (BASTOS 2007).

### 2.1.1 Fibra de açaí

O açaizeiro, cujo nome científico é *Euterpe olerácea* (Figura 1), é uma planta nativa da Amazônia que ocorre em grandes extensões no estuário amazônico. No país, o açaizeiro também é encontrado nos estados do Amapá, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins. O açaí possui diversas aplicações, entre elas destaca-se seu uso no paisagismo, como planta ornamental, na construção rústica (casas e pontes), na produção de celulose (papel Kraft), na alimentação (polpa processada e palmito) e na confecção de biojóias (colares, pulseiras etc.). Contudo, sua importância econômica e social está baseada na produção de frutos e palmito. (OLIVEIRA, 2009).

Figura 1. (a) Açaizeiro (*Euterpe olerácea*) e (b) seus frutos.



Fonte: (a)Vivo Plantas (2019); (b)Brasil Escola (2019).

A fibra do açaí é extraída do caroço do fruto já sem polpa, e, segundo Mesquita (2013), as fibras da semente do açaí podem ser utilizadas para produção de painéis de fibra de média densidade (MDF). Estes seriam eco painéis, que seriam produzidos com custo muito baixo de matéria-prima. Pois a maioria dos painéis MDF são produzidos a partir de árvores de eucalipto, e este processo acaba sendo de alto custo, já que tais produtos se encontram no mercado por estarem entre os materiais mais versáteis e utilizados na indústria moveleira e na construção civil. Segundo este mesmo estudo, constatou-se que a fibra do açaí é tão resistente quanto a do eucalipto, e há experiências de painéis de MDF produzidos com fibra de coco verde, palha de arroz, sobra de bagaço da cana de açúcar e casca de amendoim. No entanto, nenhum destes apresenta a mesma resistência do açaí, sendo que o mesmo é comparado em termos de resistência à madeira.

Dessa forma, nota-se a importância socioeconômica do fruto do açaí e conseqüentemente do seu grande potencial, de forma que o mesmo seja completamente aproveitado, seja pela extração do fruto, ou mesmo as sementes (caroços) do açaizeiro que podem ser utilizados como adubo orgânico, bem como também pela produção de painéis acústicos, e inúmeras outras aplicações anteriormente citadas. Observa-se, também, que o

extrativismo do açaí na região amazônica tem um importante papel nas questões socioeconômicas, pois garante a sustentação econômica das populações ribeirinhas, gerando emprego e renda (BRANDÃO et. al, 2015).

### 2.1.2 Fibra de juta

Dentre as fibras naturais com potencial de aplicação, destaca-se a juta (*Corchorus capsularis*), como mostra a Figura 2, cultivada em climas úmidos e tropicais na região norte do país, que produz uma fibra de alta resistência, que quando misturada a polímeros pode dar origem a produtos com menor densidade, podendo apresentar inúmeras aplicações (NETO et. al., 2007).

**Figura 2. (a) Planta de juta; (b) extração da fibra de juta.**



Fonte: (a) FAPEAM (2019); (b) Revista Globo Rural (2019).

A juta é uma herbácea da qual se obtém qualidades de fibra têxtil (ALVES, 2008). A juta se trata de uma erva lenhosa que pode alcançar de 3 a 4 m de altura e possui um caule de aproximadamente 20 mm. As altas temperaturas das regiões nas quais a juta é cultivada favorecem a fermentação e, desta forma, consegue-se a mercerização em 8 a 10 dias, facilitando a separação da fibra da parte lenhosa do talo. O comprimento das células elementares da juta é em média de 0,80 mm, e o diâmetro varia de 0,01 a 0,03 mm. Essa fibra também possui rigidez por ser lignificadas. O tempo necessário para maceração depende de vários fatores, como: temperatura da água, estado mecânico da água e idade da planta na ocasião da colheita. (ALVES, 2008). Essa atividade é atualmente, uma das principais atividades econômicas das populações ribeirinhas da região amazônica, sendo um fator fundamental para a permanência de mais de 50 mil famílias no campo (HOMMA, 1998).

A fibra de juta possui baixo custo, abundância, maleabilidade e apresenta boas propriedades como elevada resistência específica. Tais fibras estão sendo usadas em compósitos que podem ser usados em telhados de casas populares, painéis e algumas partes de carro, placas para indústria eletrônica, mesas e divisórias para escritório, bancadas para

laboratório e tanques de armazenamento (MELLO et. al., 1995). Além disso, a juta vem sendo estudada na forma de tecido. Tecidos de malha grossa de fibra de juta continuam sendo muito utilizadas na fabricação de sacos de aniagem para armazenar e transportar produtos de largo consumo, como batatas, café, algodão, carvão e muitos outros. (MONTEIRO et. al., 2008).

A fibra da juta é uma das fibras vegetais mais utilizadas como reforço de matrizes poliméricas. São usadas também na indústria automotiva brasileira, juntamente com outras fibras como algodão, rami, e coco. A fibra de juta também é utilizada em compósitos para revestimento internos de painéis, tetos e portas a base de resina fenólica, que por sua vez são reforçadas com tecidos híbridos de juta e algodão, fazendo uso da técnica chamada de moldagem por compressão (MEDEIROS et. al., 2002).

Dessa forma, através desses estudos, percebe-se as inúmeras aplicações que a fibra de juta pode ter, que além de poder ser considerada separadamente, pode também ser utilizada como reforço para compósitos. Assim, essa fibra vegetal tem despertado grande interesse em engenheiros da indústria de vários setores. Além de serem oriundas de fontes renováveis, atendem aos requisitos de biodegradabilidade e preservação do meio ambiente durante todo o seu ciclo de vida.

## 2.2 PRODUTOS DERIVADOS DE FIBRAS VEGETAIS EMPREGADOS EM DIFERENTES APLICAÇÕES

Segundo Silva (2014), o uso de matérias-primas provenientes de fontes renováveis vem sendo de extremo interesse em diversos estudos e pesquisas científicas, devido ao seu potencial na substituição de produtos sintéticos. As perspectivas para o uso de fibras naturais são crescentes e abrangem grandes áreas como, por exemplo, a indústria têxtil, indústria automobilística, área de revestimento interno de automóveis, ônibus e caminhões e construção civil. Nos últimos anos, o uso de fibras naturais como curauá, coco, sisal, rami, bagaço de cana-de-açúcar, juta e abacaxi como reforço em materiais poliméricos teve um acelerado crescimento.

Mafra (2004) cita que no âmbito acústico as fibras vegetais são utilizadas como matéria-prima para a fabricação de painéis ou mantas, utilizadas para a finalidade de controle de ruído, assim sua utilização como material de revestimento interno das paredes de ambientes, favorece o conforto acústico destes, uma vez que devem satisfazer condições acústicas de acordo com suas finalidades. Por exemplo, igrejas, auditórios, salas de aula, etc., devem ter inteligibilidade máxima; já no caso de fábricas e oficinas, estas devem ter níveis de pressão sonora abaixo do

limite permitido para oito horas diárias (neste caso, 85 dBA de acordo com a norma NR – 15); teatros, estúdios de gravação, televisão e rádio, também devem ter características acústicas adequadas.

Ainda, segundo Mafra (2004), controlar acusticamente um ambiente é fator preponderante para o seu conforto acústico, pois um ambiente devidamente controlado acusticamente é de vital importância para o bem estar do ser humano. Um ambiente com ruídos pode acarretar sérios problemas tanto psicológicos quanto fisiológicos, dentre estes problemas podem ser citadas as alterações de humor, perda de produtividade no trabalho, alterações no sono e a consequente perda de audição devido as constantes exposições a que é submetido. Dessa forma, uma boa alternativa para controlar o ruído em ambientes fechados é o uso de absorvedores sonoros em áreas afetadas, onde parte da energia acústica é transformada em energia térmica através da viscosidade do ar, o que ocorre tanto em materiais fibrosos quanto em materiais porosos.

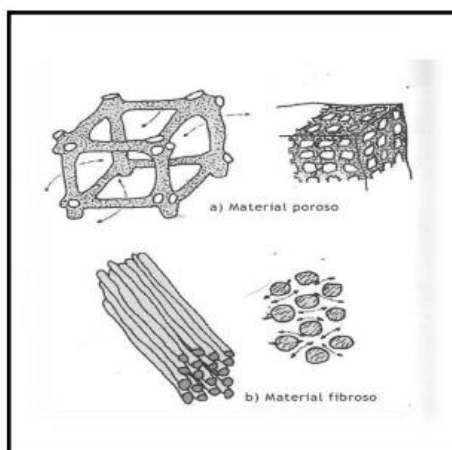
Para Marroquim (1994) a maioria dos painéis de absorção acústica são colocados em tetos e paredes para melhoria da propagação do som e aumento da inteligibilidade da fala. Em algumas décadas, o amianto, a lã de vidro e a lã de rocha foram introduzidos como materiais de isolamento sonoro em ambientes de trabalho. Recentemente, a maioria dos materiais populares de absorção sonora disponível comercialmente consistiam em fibras de vidro ou materiais de fibras minerais. No entanto, estes materiais foram descartados por terem efeitos nocivos sobre o ser humano, tais como irritação das vias respiratórias, olhos e da pele quando em contato direto. A crescente preocupação no efeito potencial para saúde no uso de vidro e fibras minerais cria uma oportunidade para fibras naturais a serem desenvolvidas como materiais alternativos de absorção sonora. Marroquim (1994) cita que muitos estudos tentam otimizar o uso de fibras naturais como materiais de isolamento acústico que substituem produtos sintéticos prontamente disponíveis no mercado. Fibras naturais como palha de arroz, coco, fibra de coco, óleo de palma, folha de chá, kenaf, cânhamo, bambu, algodão, partículas de madeira, lã e argila são biodegradáveis e renováveis, têm baixo custo e oferecem menos impacto para o ser humano e ambiente ao redor.

Oliveira (2009) descreve que materiais absorvedores de som podem ser usados para muitos propósitos, como reduzir o nível de ruído, reduzir tempo de reverberação ou para eliminar ecos, bem como para impedir que o som seja capturado por superfícies côncavas. Materiais fibrosos são normalmente compostos por um conjunto de filamentos contínuos e produzidos em rolos ou em pedaços com diferentes propriedades. Estes materiais contêm minúsculas passagens de ar que permitem que o ar se mova. Quando a energia sonora atinge as

fibras ocorre arrasto por função entre o ar em movimento e os filamentos das fibras, forçando as moléculas de ar a vibrar e causar a perda de energia. Simultaneamente, a maioria dos materiais fibrosos absorvem energia por espalhamento de energia das fibras seguidas da vibração individual da fibra. Ambas as reações indicam o mecanismo absorvente que causa a redução da energia sonora. No entanto, a quantidade de energia absorvida é muito dependente das propriedades físicas das fibras tais como espessura, densidade, porosidade e resistividade ao fluxo de ar.

Costa (2003) complementa que, devido à viscosidade do ar e o atrito, uma parcela da energia sonora é absorvida quando incide em uma superfície sólida, sendo esta onda sonora incidente transformada em calor. A natureza dos materiais é quem caracteriza o coeficiente de absorção, sendo que a estrutura porosa de materiais como tecidos, madeira aglomerada, feltros e plásticos porosos, resulta em elevados coeficientes de absorção sonora. Bistafa (2006) confirma que a absorção sonora se dá de acordo com o tipo de material a ser empregado, sendo que os materiais mais utilizados se dividem em dois grupos: os materiais fibrosos e os materiais porosos. No primeiro, estão a lã de rocha e lã de vidro, entre outros; e no segundo, estão as espumas de poliuretano, ou seja, espuma utilizada em colchões ou em esponja de limpeza doméstica. Classifica-se os materiais tanto porosos quanto fibrosos como bons absorvedores sonoros, pois permitem a penetração das moléculas de ar em seu interior, bem como a sua movimentação. Porém, dois tipos de materiais não são apropriados para tal finalidade: os tecidos com tramas muito fechadas, como por exemplo as lonas em algodão encerado; e os tecidos muito vazados, com fios espaçados, como por exemplo os tecidos tipo gaze. Conclui-se então que os materiais com alto coeficiente de absorção sonora têm como propriedade principal a resistência ao fluxo de ar.

**Figura 3. Estrutura de materiais porosos e fibrosos**



Fonte: BISTAFA (2006).

Ainda segundo Bistafa (2006), nos materiais absorventes do som, sejam eles porosos ou fibrosos (

**Figura 3**), o coeficiente de absorção sonora varia com a frequência do som incidente. O deslocamento do coeficiente de absorção pela frequência, tanto na horizontal como na vertical, depende das características físicas e construtivas do material. Com o aumento da espessura e a densidade dos materiais, aumenta-se o coeficiente de absorção sonora. O aumento da absorção sonora, principalmente das ondas de baixa frequência, tem significativa melhora quando o revestimento se encontra afastado do material da superfície, parede ou teto. Segundo Costa (2003), em materiais com uma maior rigidez, como os materiais à base de fibras de madeira aglomerada, o aumento da espessura não tem significância comparado com outros materiais absorventes como o feltro que, para baixas frequências, com o aumento da espessura, aumenta o coeficiente de absorção. Para baixas frequências, considerando o feltro, o que se percebe é que o coeficiente de absorção cresce com a espessura.

De acordo com Samsudin et. al. (2016), as propriedades físicas tais como espessura da fibra, densidade e porosidade são os principais fatores que contribuem para o desempenho da absorção sonora em fibras naturais. No trabalho supracitado, verificou-se que a maioria das fibras naturais são capazes de absorver sons em amplas faixas de frequência. Absorvedores de som de maior espessura absorvem mais energia sonora a menores frequências, enquanto que amostras de menor espessura são mais adequadas para aplicação de frequências mais altas. Além disso, materiais com maior densidade absorvem mais energia sonora em comparação com os materiais menos densos, devido a maior fricção superficial entre a onda sonora e os elementos de fibra. Efeito significativo no desempenho de absorção sonora foi obtido também por materiais com menor porosidade em comparação a materiais com mais poros. Assim, materiais com menos poros normalmente contém mais fibras, elementos por unidade de volume que aumentam significativamente a resistência entre energia sonora e elementos de fibra. Foi constatado também que materiais de alta densidade que possuem baixa porosidade normalmente absorvem menos energia sonora.

Silva (2017) apresentou bons resultados quando desenvolveu um produto para absorção acústica utilizando resíduos fibrosos da cultura da bananeira. Segundo o estudo, a maioria dos materiais com bom desempenho acústico, a porosidade varia entre 0,80 e 0,98. Os valores obtidos pelo experimento desenvolvido variaram entre 0,80 e 0,95, o que comprova que a placa de fibra de bananeira tem potencial para se tornar material base para a fabricação de revestimento para absorção acústica em função desta porosidade. Concluiu-se no mesmo estudo

que a espessura da placa é um dos fatores mais significativos quanto ao desempenho do material para absorção acústica. Foi possível também determinar que desempenho do material estudado foi superior à lã de vidro, no intervalo de 250 Hz a 1000 Hz, e ligeiramente superior à lã de rocha, entre 500 Hz e 1400 Hz.

De acordo com Souza et. al. (2015), a fibra de coco vem ganhando espaço no mercado nos últimos anos na área de controle termo acústico, principalmente devido ao seu custo-benefício e por estar ligada à sustentabilidade. Os painéis acústicos feitos deste material atendem às exigências técnicas quando analisado o controle de qualidade, e pode se igualar com outros materiais que são disponibilizados no mercado. Além disso, seu menor custo em relação aos demais também se destaca.

Segundo Catai et. al. (2006), quando a fibra de coco é misturada a um aglomerado de cortiça expandido ela apresenta resultados satisfatórios na análise de absorção de ondas de baixa frequência, dificilmente alcançados por outros materiais. Outro fator importante sobre a fibra de coco é a sua versatilidade, sendo indicado tanto para isolamento térmico como material auxiliar para isolamento acústico, fazendo-se uso de uma matéria-prima natural e renovável.

Em um estudo realizado por Campos (2012), a absorção por faixa de frequência em painéis com fibras de aveia e cana-de-açúcar apresentam um desempenho crescente, da baixa para alta frequência, cuja absorção a partir de 1250 Hz é sempre maior ou igual a 60%. De acordo com o mesmo autor, para melhorar o desempenho da placa nas baixas e médias frequências, o ideal seria utilizá-la na forma de painel ressonante/vibrante, ajustando-se à frequência crítica do painel, aquela em que o painel possui maior absorção para baixas e médias frequências, melhorando o desempenho do conjunto. Ainda, neste mesmo trabalho, foram realizados ensaios mecânicos, os quais indicaram que os painéis de fibra de aveia e cana-de-açúcar são flexíveis à força aplicada e que para aplicações que exigem materiais com essa característica como painéis vibrantes, seu desempenho é satisfatório.

Portanto, de acordo com os trabalhos apresentados anteriormente, observa-se que está em expansão a utilização de materiais que não oferecem riscos à saúde e que não promovem impactos ambientais no desenvolvimento de produtos tecnológicos, tais como painéis para controle de ruído. Essa expansão também é justificada pelo desempenho acústico dos painéis de fibras vegetais que, no geral, é compatível e, em alguns casos, superior ao desempenho de materiais tradicionais, sendo este fato instigante para a busca por materiais com desempenho cada vez maior.

### **3 DESENVOLVIMENTO DOS PAINÉIS DE FIBRAS VEGETAIS E METODOLOGIA**

Problemas que causam a falta de adequação sonora em recintos têm sido uma constante preocupação nos dias de hoje. O incômodo provocado pelo excesso de ruído em ambientes pode ser minimizado através da capacidade de absorção sonora dos materiais que o revestem (BASTOS, 2009). Uma boa alternativa para controle de ruídos em ambientes fechados é a utilização de materiais de absorção sonora, onde parte da energia acústica é transformada em energia térmica através da viscosidade do ar. A característica de absorção de um material é determinada pelo coeficiente de absorção sonora, que depende principalmente da frequência, densidade e espessura do material (MAFRA, 2004).

Neste cenário, destacam-se as fibras naturais que são matérias primas que têm sido investigadas ao longo dos anos. Estes materiais de origem vegetal apresentaram boas características de absorção sonora e baixo custo. Assim, as fibras naturais têm substituído alguns absorvedores acústicos existentes no mercado, visto que muitos deles são prejudiciais à saúde e meio ambiente (MARROQUIM, 1994).

#### **3.1 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DOS PAINÉIS**

A presente metodologia utiliza moldes com superfície de geometria triangular para maximizar o desempenho acústico que se refere a absorção sonora, utilizando fibras que por sua vez controla a reverberação no interior de um ambiente, diminuindo assim a sua reflexão. Leva em consideração também a compatibilidade das fibras em relação aos aglomerantes utilizados, os quais possuem a finalidade de unir as fibras sem alterar suas características.

Os painéis são constituídos por camadas de um único tipo fibra intercaladas por camadas de aglomerantes. Esses painéis foram assim desenvolvidos com a finalidade de se conhecer as características de cada fibra individualmente na forma de painéis.

#### **3.2 COMPATIBILIDADE DAS FIBRAS EM RELAÇÃO AOS AGLOMERANTES UTILIZADOS**

Durante o desenvolvimento dos painéis foram testados a compatibilidade do aglomerante com as fibras. Assim, os primeiros painéis foram produzidos utilizando cola branca à base de PVA e, posteriormente, foi utilizado o aglomerante de látex pré-vulcanizado. Para a

aplicação da cola branca foi utilizada uma pistola de pintura de capacidade máxima de 40 lbf/pol<sup>2</sup> (psi) já a aplicação do látex foi feito com o auxílio de uma pistola com capacidade máxima de 80 lbf/pol<sup>2</sup> (psi) as quais foram conectadas por meio de uma mangueira a um compressor. Foi utilizado o compressor rotativo do fabricante SCHULZ com capacidade máxima de 2 bar.

Foram testadas proporções de aglomerante e água nas proporções de 1:1, esta proporção foi utilizada em virtude da cola branca e a água obterem uma viscosidade ótima nessa proporção, proporcionando assim a aglomeração necessária às fibras. Para confecção dos painéis de açai e de juta foram utilizadas a mesma metodologia. Os materiais utilizados para fabricação dos painéis são mostrados nas Figura 4 e Figura 5.

**Figura 4. Materiais utilizados: (a) compressor, (b) molde e (c) pistola (utilizada na aplicação de cola branca).**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 5. Pistola de jateamento (utilizada na aplicação do látex).**



Fonte: Compressores Brasil (2019).

### 3.2.1 Aglomerantes

Como aglomerante inicialmente foi utilizada cola de madeira convencional, à base de PVA, do fabricante CASCOREZ (Figura 6). A cola branca à base de PVA não apresenta características tóxicas, sendo um produto seguro e inofensivo no manuseio, que adere aos diversos substratos e materiais porosos e fibrosos. Assim, observou-se que as fibras de açaí e juta não apresentaram um total agregação de suas fibras em relação ao aglomerante utilizado, sendo necessário a substituição por outro aglomerante.

O outro aglomerante utilizado foi o látex pré-vulcanizado (Figura 7), que é uma mistura de látex natural centrifugado a 60% com soluções aquosas. Este é totalmente vulcanizável, de fácil fluidez, seca a temperatura ambiente e produz películas de borracha de alta elasticidade. Este aglomerante aderiu perfeitamente as fibras de açaí e juta, deixando os painéis unidos e uniformes, o que conferiu boa aparência e que, em virtude dessa excelente aglomeração, mostrou de forma satisfatória os formatos geométricos dos moldes em questão, para confecção dos painéis de açaí e de juta foram utilizadas a mesma metodologia.

**Figura 6. Cola branca de madeira.**



Fonte: Dutra Máquinas (2019).

**Figura 7. Látex pré-vulcanizado.**



Fonte: Siquiplas (2019).

### 3.2.2 Desenvolvimento dos painéis

O procedimento utilizado para fabricação dos painéis consistiu em espalhar as fibras no interior dos moldes, cada camada de fibra tinha aproximadamente 1cm de altura. Os moldes foram previamente forrados com papel manteiga afim de que a cola pulverizada não grudasse no fundo do molde e causasse perdas na fabricação dos painéis. Em seguida, foi feita a compactação manual cuja carga aplicada foi de 40 kg num molde cujas dimensões são 50 x 50 mm<sup>2</sup> e a altura de 30 mm, por um tempo de 10 min para promover a agregação necessária. Em seguida, os painéis foram pulverizados com os aglomerantes a base de cola branca e látex pré – vulcanizado na proporção de 1:1. Quando as quatro camadas de fibras estão completamente sobrepostas e intercaladas com aglomerante, faz-se a compactação final com uma carga de 40 kg e com um tempo de 15 min, este tempo adicional foi necessário para promover a agregação total entre as quatro camadas de fibras, afim de que a fibras adquiram o perfeito formato do molde e promova uma perfeita agregação entre todas as fibras e sua matriz. Os procedimentos realizados, desfibramento, peneiramento, aplicação de aglomerante, compactação e secagem serão descritos.

- **Desfibramento:** Nesta etapa as fibras são retiradas do caroço do açaí com o auxílio de um máquina de extração da fibra do açaí. Em seguida as fibras passam por um processo de pré-limpeza manual afim de serem retiradas as impurezas maiores como caroços inteiros e outros corpos estranhos que possam vir misturados às fibras.
- **Peneiramento:** Esta etapa tem por objetivo reduzir o teor de impurezas das fibras dos grãos de açaí (fragmentos do próprio produto) a um nível satisfatório pois as impurezas que acompanham o produto, se não eliminadas, afetam acentuadamente sua qualidade. As fibras do açaí contendo impurezas e matérias estranhas são portadoras de grande quantidade de microorganismos proporcionando condições que aceleram a deterioração do produto. As impurezas absorvem mais umidade do que as fibras, oferecendo assim condições favoráveis para o desenvolvimento de fungos.
- **Aplicação das camadas de fibra:** Fibras vegetais são espalhadas no molde de forma uniforme. Cada camada de fibra tem aproximadamente 1 cm de altura como mostra a Figura 8.

**Figura 8. (a) e (b) Aplicação das camadas de fibras.**



Fonte: Autoria própria.

- Aplicação do aglomerante:** O aglomerante tem a finalidade de unir as fibras e aumentar sua resistência mas sem alterar suas propriedades físicas. O aglomerante a ser aplicado é pulverizado através de uma pequena área sob elevada pressão sobre as camadas de fibra (Figura 9), promovendo assim um jato que proporciona uma melhor distribuição do aglomerante sobre os painéis. Inicialmente para confecção dos painéis foram utilizados o aglomerante para madeira à base de PVA, no entanto este aglomerante não promoveu a agregação adequada às fibras, sendo necessária a sua substituição por outro aglomerante, o látex pré-vulcanizado. O látex pré-vulcanizado conferiu aos painéis, principalmente aos de geometria não plana (com protuberâncias na superfície) uma melhor agregação, melhor aspecto visual, conferiu maior flexibilidade, durabilidade, tornou-o mais resistente à deformação e ao cisalhamento, além de promover destaque das protuberâncias dos painéis com superfícies de geometrias não plana, características estas que o painel com cola branca não apresentou.

**Figura 9. Aplicação do aglomerante.**



Fonte: Autoria própria.

- **Prensagem:** As fibras foram prensadas no interior do molde, afim de que tomassem a forma do molde e formassem uma estrutura homogênea. A prensagem foi feita manualmente até que se atingissem a espessura e união desejada. Inicialmente, a primeira camada de fibra recebeu uma prensagem com carga de 40 kg, por um tempo de 10 min, essa presagem foi feita para compactar as fibras para receber a primeira aplicação do látex, as duas camadas posteriores receberam a mesma carga e quantidade de tempo, já última prensagem, onde o painel estava com as quatro camadas de fibras, recebeu uma carga de 40 kg, porém com um tempo de 15 min, esse tempo adicional promoveu a perfeita agregação entre a cola e as quatro camadas de fibras.
- **Secagem:** A secagem (Figura 10) é feita através da exposição dos painéis aos efeitos sol e do vento.

Figura 10. (a) e (b) Secagem.



Fonte: Autoria própria.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA

O coeficiente de absorção é definido como a razão entre a energia absorvida e a energia incidente sobre um material. O valor de  $\alpha$  está diretamente relacionado com as propriedades físicas do material e varia com a frequência, assumindo valores entre 0 (para material totalmente refletivo) e 1 (para material com absorção sonora total), conforme apresentado na eq. (1):

$$\alpha = \frac{A_a}{S} \quad (1)$$

Em que  $\alpha$  é o coeficiente de absorção sonora; e  $S$  é a área superficial da amostra expressa em metros quadrados.

A absorção sonora de um material, dada em metro quadrado (ISO 354/1985), pode ser calculada a partir da eq. (2):

$$A_a = \frac{55,3 V}{c} \left( \frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1} \right) \quad (2)$$

Em que  $t_2$  é o tempo de reverberação médio da câmara com amostra em seu interior, expresso em segundos;  $t_1$  é o tempo de reverberação médio da câmara sem amostra em seu interior, também expresso em segundos;  $V$  é o volume da câmara reverberante, expresso em metros cúbicos; e  $c$  é a velocidade do som no meio, expressa em metros por segundo, determinada pela eq. (3):

$$c = 331 + 0,6 T \quad (3)$$

Em que  $T$  é a temperatura do meio, expressa em graus Celsius.

Quando uma onda sonora está se propagando no ar e se depara com um obstáculo pode acontecer reflexão, absorção ou transmissão. Reflexão ocorre quando a onda se reflete de acordo com as leis da ótica. A absorção é a capacidade da superfície de não permitir que a onda sonora seja refletida. Transmissão é a capacidade de um material permitir que o som ultrapasse uma superfície, continuando a propagação (GERGES, 2000).

Todos os materiais são capazes de dissipar alguma parte da energia que lhes é incidente (GUEDES, 2007). Os materiais e sistemas absorvedores sonoros podem ser diferenciados consoante as suas características físicas bem como os seus mecanismos de funcionamento. Por um lado, tem-se os materiais porosos e fibrosos, mais usados para as gamas das altas frequências. O processo de absorção dos materiais porosos e fibrosos baseia-se na existência de espaços de ar no interior dos materiais. Deste modo, a energia vibração do ar é transferida às fibras que resistem à fricção entre elas. Esta fricção liberta calor, dissipando, portanto, parte da energia incidente, ocorrendo a dita absorção sonora. O tamanho dos poros é, naturalmente, importante pois no caso dos espaços de ar serem muito grandes a vibração das fibras será menor pelo que, conseqüentemente, a absorção sonora será também menor. Por outro lado, se os interstícios dos poros forem muito pequenos, ou se as fibras estiverem rigidamente ligadas, a vibração será igualmente menor pelo que também haverá diminuição da absorção sonora. Dado que a eficácia deste tipo de sistemas absorvedor reside na existência de espaços de ar no interior do material qualquer tratamento que preencha ou obstrua os poros é desaconselhado, pois isso

diminuirá invariavelmente a sua eficácia (OLIVEIRA, 2009).

Em termos gerais, o aumento da espessura implica também o aumento do coeficiente de absorção sonora do material, em particular nas médias e baixas frequências. Verifica-se que o comportamento destes materiais é compatível com o aumento do coeficiente de absorção sonora com o aumento da frequência, até um dado valor. A partir desse valor, o coeficiente de absorção sonora mantém-se mais ou menos constante com o aumento da frequência. Os coeficientes de absorção sonora em função da frequência são, então, máximos para as altas frequências, razão pela qual são utilizados em ambientes onde o ruído principal é proveniente da palavra. Com o aumento da espessura, o referido patamar estabelece-se mais cedo, isto é, para frequências mais baixas, aumentando a absorção sonora nas médias e baixas frequências (SOUZA, 2015).

Dado que o espaço de ar nos materiais influencia a sua capacidade absorvedora, então a sua densidade influenciará igualmente a capacidade absorvedora destes materiais. Para densidades menores que a ótima para cada material, a capacidade absorvente estará diminuída devido ao grande espaço entre as fibras. Por outro lado, para densidades superiores à ótima o espaço dos interstícios será pequeno pelo que a vibração das fibras será diminuída (OLIVEIRA, 2009).

### 3.4 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Quando um som é gerado dentro de um ambiente, escuta-se, primeiramente, o som direto e, em seguida, o som refletido (VIEIRA, 2008). No caso em que essas sensações se sobrepõem, confundindo o som direto e o refletido, tem-se a impressão de uma audição mais prolongada. A esse fenômeno se dá o nome de reverberação.

Define-se como Tempo de Reverberação (TR) o tempo necessário para a intensidade de um som decair 60 dB do seu valor inicial, depois de cessada a fonte. É o parâmetro mais importante para determinar a qualidade acústica de um ambiente. O mesmo depende da frequência e pode ser controlado através da utilização de materiais de absorção. Se as paredes do ambiente forem muito absorventes (pouco reflexivas), o tempo de reverberação será muito pequeno, caso contrário ocorrerão muitas reflexões e o tempo de reverberação será grande. Esta definição está baseada na suposição de que, no caso ideal, existe uma relação linear entre o nível de pressão sonora e o tempo. E que o nível de ruído de fundo seja suficientemente baixo (GUEDES, 2007). O tempo de reverberação é uma importante característica de ambientes fechados, usado para determinar quão rapidamente o som decai numa sala.

### 3.5 CÂMARA REVERBERANTE

É um ambiente construído para que as sensações de prolongamento sonoro sejam aumentadas. Para medição do tempo de reverberação na câmara reverberante, é necessária uma fonte de ruído capaz de criar um campo sonoro difuso. No caso concreto deste ensaio, recorreu-se a um sinal produzido por um analisador de sinais. Desta forma foi gerado um pulso de ruído para cada banda de frequência, que é amplificado pela fonte sonora sendo transmitido para o espaço da câmara reverberante. Os tempos de reverberação são calculados a partir da resposta da câmara a essa solicitação. Ressalta-se que a câmara em que foram realizados nos ensaios estava equipada com quatorze difusores suspensos no seu interior, dispositivos estes que são responsáveis pelo espalhamento sonoro, fazendo com que o som se torne o mais uniforme possível em todas as direções.

A câmara utilizada para os testes apresenta as seguintes dimensões:

- Comprimento: 2,5 m;
- Largura: 1,6 m;
- Altura: 2,0 m;
- Volume total: 8 m<sup>3</sup>.

### 3.6 COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DOS PAINÉIS DE FIBRAS VEGETAIS

Os coeficientes de absorção sonora foram medidos através do método de interrupção de ruído, que é o decaimento sonoro por banda de frequência. A partir desse decaimento consegue-se obter o tempo de reverberação dentro câmara reverberante. A câmara sem amostra possui um tempo de reverberação característico da própria câmara em função de suas dimensões. Ao inserir o material, a área que antes era refletora passa a ser absorvedora reduzindo o tempo de reverberação.

Com base nas diferenças entre o tempo de reverberação da câmara, com amostra e sem amostra, obtém-se o coeficiente de absorção sonora dos painéis através da eq. (1).

### 3.7 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DA CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DOS PAINÉIS

Segundo a norma ISO 354/2003, os equipamentos para medição do TR devem consistir de um ou mais microfones não direcionais tanto quanto possível (microfones de incidência

aleatória), fonte sonora, amplificadores (se necessários), filtros e um sistema de medição para o TR. Os equipamentos utilizados nos testes aqui conduzidos (Figura 11) são listados a seguir:

- Amplificador de Potência B&K, modelo 2716;
- Analisador de sinais B&K, modelo 4296;
- Fonte dodecaédrica B&K PULSE, modelo 3160-042;
- Tripés e suportes;
- 2 Microfones Polarizados de Campo Difuso ½" B&K, modelo 4942;
- Anemômetro Termohidro Luxímetro Digital LM-8000 Lutron.

**Figura 11. Equipamentos utilizados para os testes acústicos de validação da minicâmara do CAMTUC.**



**Fonte:** Autoria própria.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

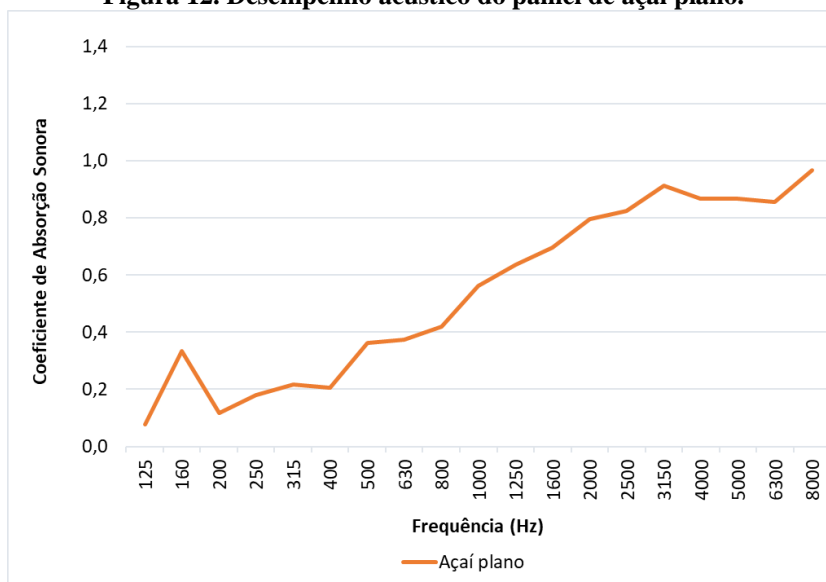
Os experimentos foram realizados em câmara reverberante em escala reduzida previamente validada (ANDRADE JUNIOR; GUERRA, 2018) de acordo com a norma ISO - 354 /2003. Atualmente, a referida câmara conta com 14 difusores acústicos (entre suspensos e volumétricos) para melhorar a difusividade de seu campo sonoro.

Para que uma câmara reverberante seja validada, esta deve apresentar tempo de reverberação suficientemente longo e decaimento sonoro significativo após o desligamento da fonte; bom isolamento sonoro, para que ruídos externos não interfiram nas medições; frequência de corte relativamente baixa para maximizar a faixa de frequência de análise; e coeficiente de absorção sonora das paredes mais baixo possível (VIEIRA, 2008).

Além disso, o campo desses ambientes de testes deve ser suficientemente difuso, com níveis de pressão sonora aproximadamente iguais ao longo de uma região espacial a partir de uma certa distância das paredes, teto e piso. As funções de resposta em frequência da câmara devem apresentar um espectro aproximadamente plano em toda faixa de frequência analisada ao serem excitadas com excitação de banda larga. A frequência de corte da minicâmara está entre 400 Hz e 500 Hz (ANDRADE JUNIOR; GUERRA, 2018). Todos estes requisitos são contemplados no ambiente de teste utilizado neste trabalho.

O painel plano de aço (Figura 13) apresenta desempenho acústico crescente a partir de 500 Hz, como pode ser comprovado pelo gráfico da Figura 12, alcançando o máximo de 90% de absorção sonora na frequência de 8000 Hz.

**Figura 12. Desempenho acústico do painel de aço plano.**



Fonte: Autoria própria.

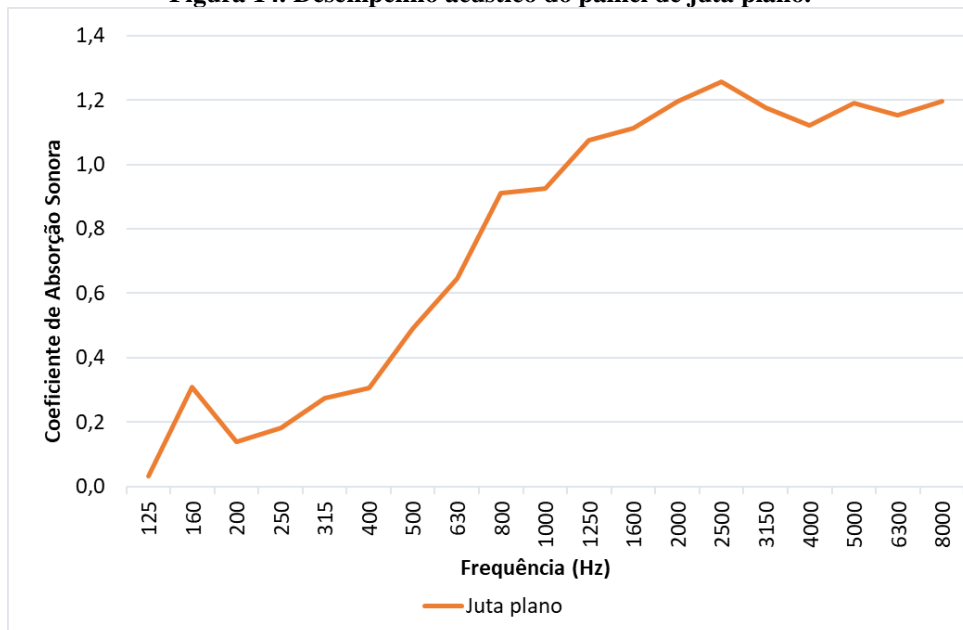
**Figura 13. Painel plano de açai na câmara reverberante.**



Fonte: Autoria própria.

Ao analisar o resultado da absorção do painel plano de juta (Figura 15) por faixa de frequência verificou-se que o desempenho foi crescente, da baixa para alta frequência, alcançando 100% de absorção sonora em 1250 Hz como mostra a Figura 14.

**Figura 14. Desempenho acústico do painel de juta plano.**



Fonte: Autoria própria.

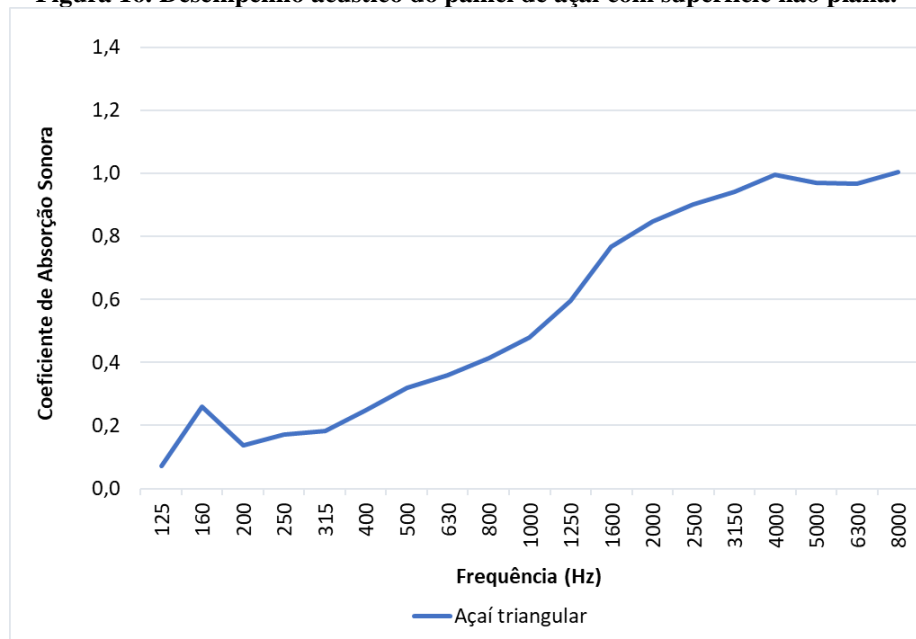
**Figura 15. Painel plano de juta na câmara reverberante.**



Fonte: Autoria própria.

Observa-se na Figura 16 que o painel de açai com superfície não plana (Figura 17) apresenta desempenho acústico crescente, atingindo 100% de absorção sonora na faixa de 4000 Hz.

**Figura 16. Desempenho acústico do painel de açai com superfície não plana.**



Fonte: Autoria própria.

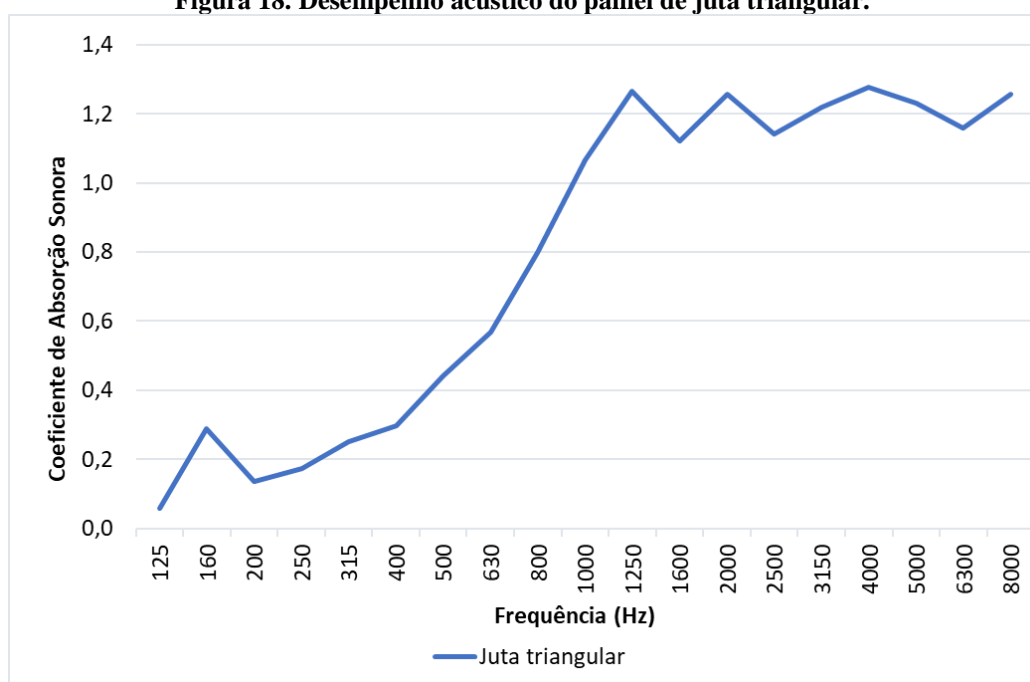
**Figura 17. Painel de açai com superfície não plana na câmara reverberante.**



Fonte: Autoria própria.

A Figura 18 apresenta a curva de absorção sonora obtida para os painéis de juta com superfície não plana (Figura 19). Percebe-se um desempenho crescente a partir de 500 Hz atingindo 100% de absorção acústica em 1000 Hz, mostrando assim o melhor resultado e se estabelecendo, nas médias e altas frequências, como melhor absorvedor acústico entre os outros painéis testados.

**Figura 18. Desempenho acústico do painel de juta triangular.**



Fonte: Autoria própria.

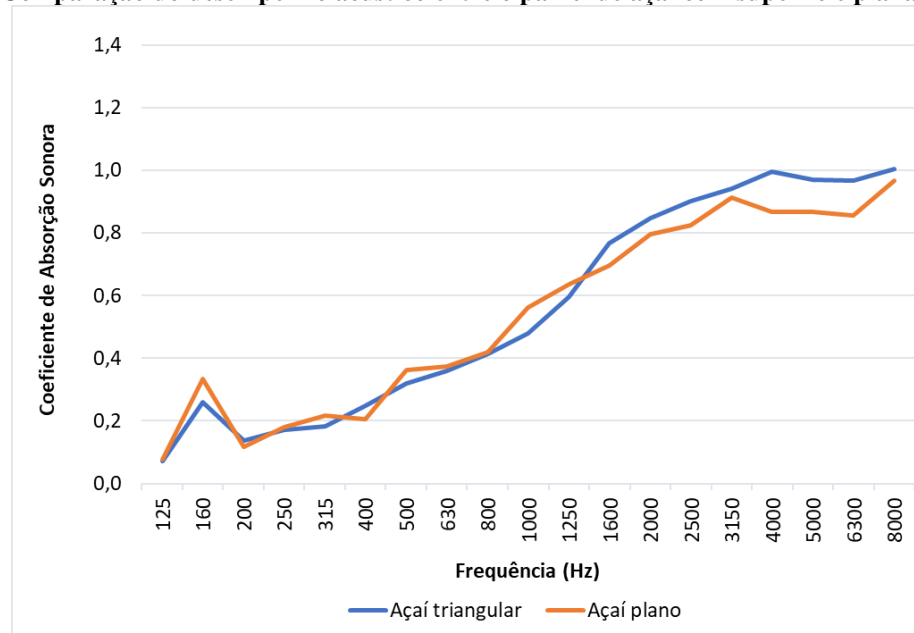
**Figura 19. Painel de juta com superfície não plana na câmara reverberante.**



Fonte: Autoria própria.

A Figura 20 mostra um comparativo entre os painéis, observa-se que o painel de açai com geometria não plana supera em torno de 10% o painel de açai cuja geometria é plana pois tal geometria contribui para a maior absorção sonora. Dessa forma, pode-se dizer que fabricar um painel a partir de fibras de açai com geometria não plana para controle de ruídos é uma opção atrativa pois é de baixo custo, apresenta um bom desempenho acústico e agrega valor à referida fibra.

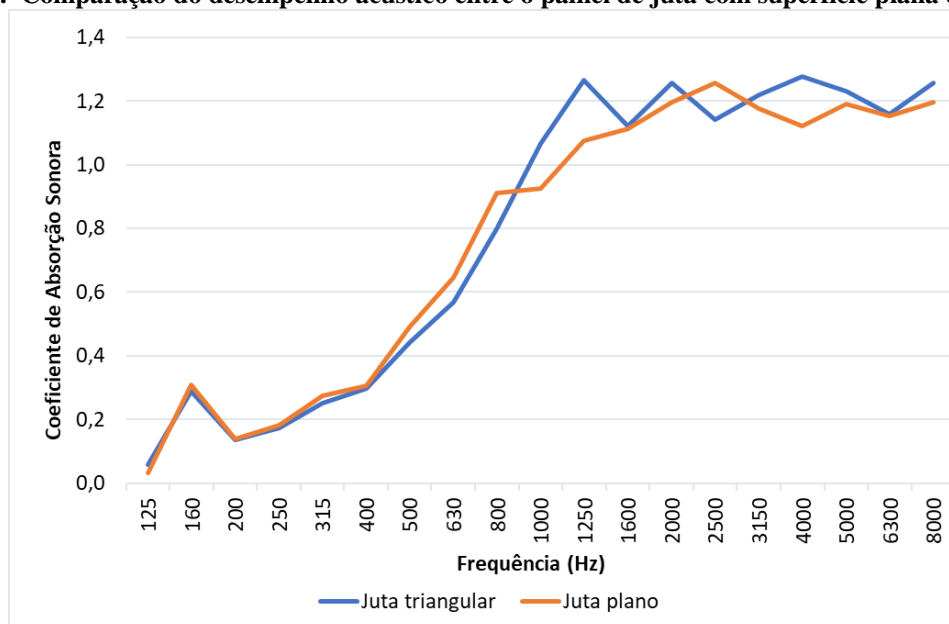
**Figura 20. Comparação do desempenho acústico entre o painel de açai com superfície plana e não plana.**



Fonte: Autoria própria.

Analisando o gráfico da Figura 22, nota-se que o comportamento dos painéis em relação à capacidade de absorção difere ligeiramente nas médias e altas frequências sendo que o painel de tem eficiência de 5% em relação ao painel de juta plano. Observa-se também que o painel de juta com superfície não plana alcança 100% de absorção em 1000 Hz e o painel plano em torno de 1250 Hz.

Figura 21. Comparação do desempenho acústico entre o painel de juta com superfície plana e não plana.



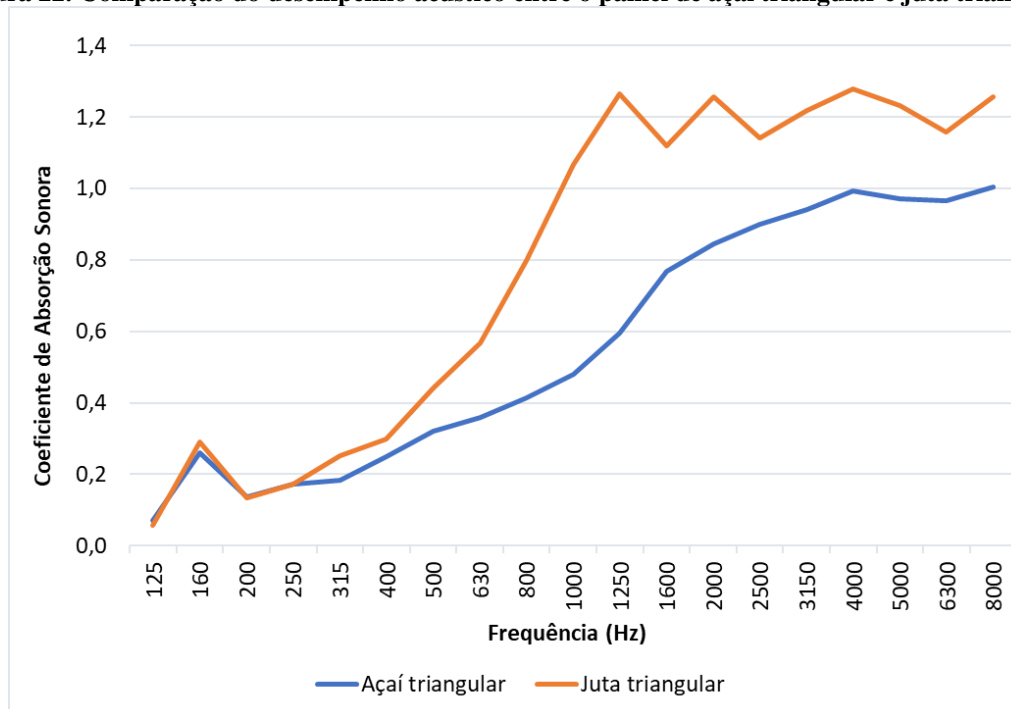
Fonte: Autoria própria.

O desempenho acústico do painel de fibra de juta com geometria superficial não plana mostrado no gráfico da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** foi o que apresentou melhor desempenho dentre os materiais analisados. Embora instável nas baixas frequências do espectro, limitação esta inerente às dimensões da câmara reverberante utilizada nos testes, a partir de 250 Hz o referido painel apresentou coeficiente de absorção sonora acima de 20% e crescente com a frequência.

Considerando o NRC do material, parâmetro utilizado para quantificar o desempenho dos materiais acústicos, observa-se que o valor de NRC do painel de juta com superfície não plana com espessura de 30 mm foi superior ao de lã de PET (material comercialmente disponível utilizado para controle acústico) com espessura de 50 mm. O valor de NRC é obtido através da média aritmética dos valores do coeficiente de absorção sonora em determinadas frequências. O cálculo de NRC é exemplificado na eq. (4).

$$\text{NRC} = \frac{1}{4} (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{2000} + \alpha_{4000}) \quad (4)$$

**Figura 22. Comparação do desempenho acústico entre o painel de açai triangular e juta triangular.**



Fonte: Autoria própria.

Apesar dos resultados em altas frequências serem satisfatórios e dos experimentos serem feitos de acordo com os procedimentos descritos na norma ISO 354, observa-se que em baixas frequências os resultados apresentam menor confiabilidade, inerentes às dimensões da câmara, os experimentos feitos neste trabalho foram testados sob os mesmos parâmetros e com os mesmos equipamentos conferindo maior confiabilidade aos resultados obtidos. Resultados este que indicaram um bom desempenho acústico para os painéis de fibras vegetais desenvolvidos, permitindo sua utilização para controlar a acústica em interiores.

É importante mencionar que valores do coeficiente de absorção acima de 1 são considerados neste trabalho como resultados de 100% de absorção. Para quantificar de forma precisa os resultados seria necessário a análise em tubo de impedância pelo método determinístico, porém o presente trabalho abordou dimensões de amostra similares ao que já é comercializado.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 CONCLUSÕES

As principais conclusões são apresentadas a seguir:

- A utilização de látex pré-vulcanizado melhorou significativamente a agregação e o aspecto visual dos painéis fabricados quando comparados com os painéis produzidos com cola branca, reduzindo ainda o tempo de secagem e melhorando a flexibilidade e resistência a deformações dos painéis, além disso permitiu que os painéis com superfície não plana atingissem a geometria desejada.
- Foram fabricados painéis individuais com superfície plana com fibras de açai e juta.
- A partir dos testes, concluiu-se que os painéis de açai com geometria superficial não plana apresentaram maiores coeficientes de absorção (em média 10 % superior) que os painéis planos de açai, principalmente em frequências acima de 1250 Hz, sendo que isto foi atribuído à superfície com protuberâncias dos painéis, o qual aumenta a área efetiva de absorção sonora.

De forma equivalente ao açai, os painéis de juta com superfície não plana, em frequências acima de 800 Hz, aproximadamente, também apresentaram maior coeficiente de absorção sonora (5%) quando comparado aos painéis fabricados com o mesmo tipo de fibra (juta) porém com geometria superficial plana.

Comparando os painéis com geometria superficial não planados para os dois tipos de fibras (açai e juta) testados, concluí-se que os painéis de fibra de juta com superfície não plana é mais eficiente que o painel de açai com superfície não plana a partir de 250 Hz.

### 5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolver e testar painéis com protuberâncias superficiais diferentes: ondulares, semicirculares, trapezoidais, etc. e identificar os parâmetros que mais influenciam na absorção sonora.
- Confeccionar painéis com outros tipos de fibras vegetais e comparar com os painéis aqui desenvolvidos, buscando encontrar matérias primas mais econômicas e com desempenho acústico ainda melhor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÇAI (*Euterpe olerácea*), **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/saude/acai-1.htm>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

AÇAI, **Vivo Plantas**. Disponível em: <<https://vivoplantas.com.br/produto/acai/>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

ALVES, R.T. **Embrapa cerrados celebra centenário da imigração japonesa**. *Cerrados informa Planaltina*, v. 9, n. 88, p. 2. (2008).

ANDRADE JUNIOR, F. C. P.; GUERRA, W. H. L. **Desenvolvimento e validação de uma câmara reverberante em escala para determinação de propriedades acústicas de materiais**. Tucuruí – PA: UFPA/CAMTUC, 2018.

BASTOS, Leopoldo Pacheco. **Controle de ruído em instalações de grupos geradores: um estudo de caso**. Belém –PA: UFPA, 2007.

BASTOS, Leopoldo Pacheco. **Desenvolvimento e caracterização acústica de painéis multicamadas unifibra, multifibras e mesclados, fabricados a partir de fibras vegetais**. Belém –PA, UFPA, 2009.

BRANDÃO, Claudia Rafaela Farias, et. al. **Açaí no estado do Pará e seu potencial para o desenvolvimento sustentável da região**. Apresentado no congresso técnico científico da engenharia e da agronomia – Contecc. Fortaleza-CE, 2015.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. São Paulo, SP: editora Edgar Blücher, 2006.

CAMPOS, Rubya Vieira De Mello. **Painéis para tratamento acústico utilizando fibras naturais**. Maringá, PR, UEM, 2012.

CATAI, Rodrigo E.; PENTEADO, André P.; DALBELLO, Paula F. **Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico**. 17º congresso brasileiro de engenharia e ciências dos materiais, Foz do Iguaçu, nov. 2006.

COLA BRANCA DE MADEIRA, **Dutra Máquinas**. Disponível em: <<http://www.dutramaquinas.com.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

COSTA, Enio Crus. **Acústica técnica**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

ERHART, et. al. **Tecnologia de aproveitamento de fibras naturais: uma arqueologia de “conhecimento em extinção”**. 1975-1976:41, vol II.

ESTUDO CONTA A HISTÓRIA DA CULTURA DE JUTA E MALVA NO BRASI, **FAPEAM**. Disponível em: <<http://www.fapeam.am.gov.br/estudo-conta-a-historia-da-cultura-de-juta-e-malva-no-brasil/>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

FERREIRA, Aldenor da Silva. **Trabalhadores da malva. Reprodução material e simbólica da vida no baixo rio Solimões**. Manaus, AM: UFAM, 2009.

GERGES, Samir N. Y., **Ruído fundamentos e controle**. 2ª ed., Florianópolis, SC, Brasil, (2000).

GOMES, Caio Vasconcellos Sabido. **Comportamento acústico de materiais absorvedores em multicamadas**. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2015.

GONÇALVES, Fernando Antônio de Castro, et. Al. **Fibras vegetais: aspectos gerais, aproveitamento, inovação tecnológica e uso em compósitos**. Revista Espacios. Vol. 39 (nº 06) pág. 12 (2018).

GUEDES, Reginaldo Cascaes. **Projeto e construção de uma câmara reverberante em escala reduzida para caracterização acústica em materiais absorventes**. Belém, PA: UFPA, 2007.

HOMMA, A. K. O. **Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Belém: EMBRAPA CPATU, 1998.

ISO 354: 1985. Acoustics – **Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room**.

ISO 354: 2003. Acoustics – **Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room**,

JABER, Maíra dos Santos. **O bebê e a música: sobre a percepção e a estruturação do estímulo musical, do pré-natal ao segundo ano de vida pós-natal**. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2013.

LÁTEX PRÉ-VULCANIZADO, **Siquiplás**. Disponível em: <dutramaquinas.com.br./>. Acesso em: 01 fev. 2019.

MAFRA, Márcio Paulo de Araújo. **Desenvolvimento de infraestrutura para caracterização e análise de painéis acústicos**. Belém, PA: UFPA, 2004.

MARROQUIM, S. **Uso da fibra de coco e látex na engenharia automotiva: memorial da crina-látex do brasil**. 1994.

MATTOSO, L. H. C.; FERREIRA, F. C.; CURVELO, A. A. S. **Sisal fiber: morphology and applications in polymer composites**, In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGNOCELLULOSICS-PLASTICS COMPOSITES, São Paulo – SP, March 1996.

MEDEIROS, Eduardo Bauzer. Introdução à teoria acústica. In: I SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE ÁUDIO, 2002, Belo Horizonte. **Anais do I seminário de engenharia de áudio**. Belo Horizonte, 2002. versão do cd.

MELLO, N. B; Pasa, V. M. D. "Poliuretanos Rígidos Obtidos a Partir de Alcatrão de Eucalyptus e Óleo de Rícinus como Materiais de Isolamento Térmico". In: **Anais do 3º Congresso Brasileiro de Polímeros**, p.1802 (1995).

MESQUITA, Antonio de Lima. **Estudos de processos de extração e caracterização de fibras do fruto do açaí (euterpe oleracea mart.) da amazônia para produção de ecopainel de partículas homogêneas de média densidade.** Belém, PA: UFPA, 2013.

MONTEIRO, S. N; CAMERINI, A. L; TERRONES, L. A. H. **Tenacidade ao impacto de compósitos de tecido de juta reforçando matriz de polietileno reciclado.** Revista Matéria, v. 13, n. 1, pp. 180 – 185, 2008.

OLIVEIRA, Pedro Daniel Pinto Silva. **Desenvolvimento e caracterização acústica de elementos autoportantes para absorção sonora em espaços tipo open space.** Porto, Portugal, 2009.

PISTOLA DE JATEAMENTO, **Compressores Brasil.** Disponível em: <<http://compressoresbrasil.com.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

PRODUÇÃO DE JUTA E MALVA ENVOLVE 15 MIL FAMÍLIAS NO NORTE DO PAÍS, **Revista Globo Rural.** Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI146775-18078,00-PRODUCAO+DE+JUTA+E+MALVA+ENVOLVE+MIL+FAMILIAS+NO+NORTE+DO+PAIS.html>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

SAMSUDIN, Emedya Murniwaty; ISMAIL, Lokman Hakim; KADIR, Aeslina Abdul. **A review on physical factors influencing absorption performance offibrous sound absorption material from natural fibers.** Arpn journal of engineering and applied sciences. vol. 11, no. 6, March 2016.

SILVA, Diógenes Magri da. **Fibras naturais como isolamento acústico.** Programa de pós-graduação stricto sensu em engenharia de edificações e saneamento. Londrina, PR: UEL, 2017.

SILVA, Isabela Leão Amaral da. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta.** Campos dos Goytacazes, RJ: UENF, 2014.

SILVA, r. v. **Compósito de resina poliuretano derivado do óleo de mamona e fibras vegetais.** São Paulo, SP: UESP 2003.

SOUZA, Emilye Stephane de. et. al. **Aplicação da fibra de coco no processo de isolamento termo acústico.** Revista gestão e sustentabilidade ambiental. Florianópolis, SC, 2015

VIEIRA, Rodrigo De Andrade. **Projeto painéis acústicos:** desenvolvimento de painéis confeccionados a partir de fibras de coco para controle acústico de recintos. Belém, PA: UFPA, 2008.