



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**Potencialidade da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*)
para o conforto acústico em edificações próximos a
usinas eólicas**

**Autor: Angela Luiza de Oliveira Sousa
Orientador: Prof.^a Dr.^a Maria Alzira de A. Nunes**

**Brasília, DF
2021**



ANGELA LUIZA DE OLIVEIRA SOUSA

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Maria Alzira de A. Nunes

**Brasília, DF
2021**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Sousa, Angela Luiza de Oliveira.

Caracterização e avaliação da potencialidade acústica de amostras confeccionadas com bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) / Angela Luiza de Oliveira Sousa. Brasília: UnB, 2021. 103 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2021. Orientação: Maria Alzira de A. Nunes

1. Bucha vegetal. 2. Materiais acústicos. 3. Tubo de impedância.

I. Nunes, Maria Alzira de A.

CDU Classificação



Caracterização e avaliação da potencialidade acústica de amostras confeccionadas com bucha vegetal (*Luffa cylindrica*)

Angela Luiza de Oliveira Sousa

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 03/11/2021 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof.^a Dr.^a Maria Alzira de A. Nunes, UnB/ FGA
Orientador

Prof.^a Dr.^a
Josiane do Socorro A. de S. de O. Campos, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof.^a Dr.^a Roseany de Vasconcelos Vieira Lopes,
UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2021

Dedico este trabalho a todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua infinita bondade e misericórdia. Por ser meu alicerce e meu sustento durante toda a minha vida.

À minha mãe, por tanto amor, paciência, cuidado, por colocar tanta fé nos meus sonhos e por suas incessantes orações. Obrigada por não ter deixado eu desistir. Minha fonte de amor, eu te amo demais.

À minha vó, Luiza. Minha vó, segunda mãe, obrigada por todo cuidado e amor ao longo desses anos. Por todo encorajamento e por me ensinar a ser forte. Meu amor e admiração pela senhora é imenso.

Aos meus padrinhos, Maria de Fátima e Paulo. Eu amo vocês, obrigada pelo incentivo em todos os momentos.

Ao meu pai, Francisco. Que não está mais entre nós, mas sei que está muito feliz por essa conquista. Eu te amo, *papito!* E sinto muitas saudades.

Ao meu noivo, Leonardo. Obrigada pelo amor, paciência, pelo incentivo e por acreditar em mim, pela força nos momentos em que mais precisei. Eu te amo.

À minha querida orientadora Dr.^a Maria Alzira, obrigada. Por ter entendido todas as minhas dificuldades como uma mãe; por ser tão incrível orientadora e aceitado trilhar esse caminho comigo, por nunca ter desistido de mim, por cada ensinamento, pela paciência, pela oportunidade e por todos os conselhos cheio de amor e cuidado, que levarei para a vida toda. Tenho muita admiração pela pessoa e profissional incrível que a senhora é. MUITÍSSIMO obrigada.

Aos meus colegas de curso, obrigada pela caminhada. Aos meus amigos que levarei para a vida como um presente, Gabriel, Brenda, Samuel, Victor, obrigada pela parceria de vocês.

Aos meus amigos Lucas, Isabella, Luana, Luísa, Isabella Amancio, obrigada por terem sido meus melhores amigos e por sempre me encorajar a conquistar meus sonhos. Eu amo vocês.

À Maria Borges que me ajudou na utilização do tubo de impedância durante os experimentos no laboratório, me dando todo suporte para que a parte experimental pudesse ter êxito.

A Universidade de Brasília, por ter concedido todo suporte na realização da minha graduação e ao projeto de pesquisa.

Minha mãe achava estudo a coisa mais fina do mundo. Não é. A coisa mais fina do mundo é o sentimento. Aquele dia de noite, o pai fazendo serão, ela falou comigo: “Coitado, até essa hora no serviço pesado”. Arrumou pão e café, deixou o tacho no fogo com água quente. Não me falou em amor. Essa palavra de luxo.

Adélia Prado

RESUMO

Com o crescente desenvolvimento da matriz energética no Brasil e considerando o ruído proveniente da implantação e operação dos parques eólicos, torna-se necessário propor medidas para mitigar o impacto do ruído nas residências próximas a esses parques, quando não é mais possível se valer de barreiras acústica ou afastar ainda mais os parques eólicos dos loteamentos vizinhos, tornando-se necessário o controle do ruído interno, utilizando materiais acústicos. O Brasil é um país com grande diversidade em cultura de fibras vegetais sendo viável a exploração deste recurso natural para o desenvolvimento de materiais acústicos. As fibras vegetais são fontes renováveis e abundantes, apresentam baixa densidade e baixo custo, quando comparada com materiais similares. Das fibras encontradas, destaca-se no presente trabalho a bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) que é uma planta herbácea, pertencente à ordem das Cucurbitales e à família das Cucurbitáceas. É uma trepadeira de regime anual e perene, rastejantes ou escandentes que pode chegar até 5 metros, de folhas grandes, ásperas e verde-escuras, que lembram a forma de uma mão aberta. Considerando as características físico-química apresentadas na bucha vegetal, facilidade no manuseio e por ser demasiadamente encontrada na natureza, o trabalho visa o desenvolvimento de um novo material que apresente desempenho acústico, para que possa servir como alternativa aos materiais comumente utilizados para isolamento. Outra contribuição é oferecer soluções para o controle do ruído em loteamentos urbanos vizinhos aos parques eólicos cuja construção seja posterior à implantação dos parques. Sendo assim, foram realizados ensaios experimentais utilizando o tubo de impedância com as amostras da bucha vegetal em seu estado natural, tingida e em painel sanduíche com gesso na parte interna, em que foi determinado o coeficiente de absorção. Ao fim do experimento, o presente trabalho concluiu que as amostras da bucha vegetal apresentaram bom potencial acústico.

Palavras-chave: Materiais acústicos. Parques eólicos. Bucha vegetal. Coeficiente de absorção sonora. Tubo de impedância.

ABSTRACT

With the growing development of the energy matrix in Brazil and considering the noise arising from the implementation and operation of wind farms, it is necessary to propose measures to mitigate the impact of noise in homes close to these farms, when it is no longer possible to use barriers acoustic or further distance the wind farms from neighboring subdivisions, making it necessary to control internal noise, using acoustic materials. Brazil is a country with great diversity in plant fiber cultivation, making it viable to exploit this natural resource for the development of acoustic materials. Vegetable fibers are renewable and abundant sources, have low density and low cost when compared to similar materials. Of the various fibers found, the vegetal loofah (*Luffa cylindrica*) stands out in this work, which is a herbaceous plant, belonging to the order of Curbubitales and the family of Cucurbitaceae. It is an annual and perennial vine, crawling or scanning that can reach up to 5 meters, with large, rough and dark green leaves that resemble the shape of an open hand. Considering the physical-chemical characteristics presented in the vegetal loofah, ease of handling and excessively found in nature, the present work aims to develop a new material that presents good acoustic performance, so that it can serve as an alternative to materials commonly used for insulation. Another contribution is to offer solutions to control noise in urban subdivisions adjacent to wind farms whose construction takes place after the installation of the parks. Therefore, experimental tests were carried out using the impedance tube with samples of the vegetable bushing in its natural state, dyed and in a sandwich panel with plaster on the inside, in which the absorption coefficient was determined. At the end of the experiment, the present work concluded that the samples of the vegetal loofah presented good acoustic potential.

Keywords: Acoustic materials. Wind farms. Vegetable bushing. Sound absorption coefficient. Impedance tube..

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2 MOTIVAÇÃO.....	9
1.3 OBJETIVOS.....	11
1.4 METODOLOGIA	12
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 MATERIAIS FIBROSOS E POROSOS.....	14
2.2 MATERIAIS ACÚSTICOS SUSTENTÁVEIS	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
3.1 SOM E RUÍDO.....	25
3.2 PROPAGAÇÃO DO SOM EM RECINTOS FECHADOS	26
3.3 COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA	27
3.4 ISO 10534-2:1998.....	30
4. METODOLOGIA.....	32
4.1 Extração da fibra.....	32
4.2 FABRICAÇÃO DAS AMOSTRAS	34
4.2.1 AMOSTRA A	34
4.2.2 AMOSTRA B	36
4.2.3 AMOSTRA C.....	37
4.3 ENSAIO EXPERIMENTAL NO TUBO DE IMPEDÂNCIA	40
4.4 CALIBRAÇÃO DOS MICROFONES.....	40
4.4.1 RUÍDO DE FUNDO.....	41
4.4.2 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
6. CONCLUSÕES	53

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Com a diversificação da matriz energética do Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), até meados de 2018, mais de 520 parques eólicos foram instalados no Brasil. Isso significa aproximadamente 6.600 aerogeradores em operação, sendo 80% na região Nordeste. As vantagens do desenvolvimento da indústria eólica no Brasil estão associadas a fatores ambientais, por se tratar de uma energia renovável e amplamente disponível, com baixo impacto ambiental na implantação e na operação (SERRANO, 2019). Na figura 01 (a) é mostrado um parque eólico e na figura 01 (b) um gerador eólico.



Figura 1: (a) Parque eólico; (b) gerador eólico
Fonte: (SERRANO, 2019).

Do ponto de vista social e econômico, o mercado eólico e sua cadeia de suprimentos fomentam a instalação de indústrias, a geração de empregos e aumento da renda em regiões de baixo desenvolvimento. Apesar das vantagens citadas, há de se destacar que durante a fase de implantação das usinas eólicas, assim como tantas outras atividades de construção civil, vários impactos ambientais negativos são produzidos pelas atividades das obras, e absorvidas pelo meio ambiente, no meio antrópico, biótico e físico (SERRANO, 2019).

Sendo assim, os órgãos ambientais são responsáveis pela emissão das licenças ambientais, que autorizam a instalação e operação de parques eólicos, mediante apresentação, de responsabilidade do empreendedor, do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), que irá identificar os impactos positivos e negativos, que

serão produzidos pela implantação do projeto, sugerindo os programas ambientais que serão necessários para mitigar os impactos negativos e potencializar os impactos positivos, e que deverão ser executados durante a fase de implantação do empreendimento.

A perturbação sonora é um dos impactos ambientais negativos, e previstos, nos estudos ambientais para licenciamento de implantação de parques eólicos, devido à previsão de aumento de emissão de ruídos, por consequência das atividades de construção civil dos empreendimentos, como durante a mobilização de equipamentos pesados, veículos e pessoas. Portanto, é proposto e executado, durante o período de implantação de usinas eólicas, um programa ambiental específico de monitoramento dos níveis de ruídos, que tem como propósito assegurar a manutenção da qualidade ambiental acústica das populações circunvizinhas aos empreendimentos, e avaliar a propagação da emissão de ruídos a partir das fontes emissoras, certificando-se de que os receptores críticos não serão afetados (OLIVEIRA, 2018).

Acontece que, o ruído proveniente das operações dos aerogeradores podem levar a problemas sérios de incômodo na vizinhança destes equipamentos a partir do posicionamento deles em regiões habitadas. Em um parque eólico na região sul do Brasil, foi verificado que mesmo respeitando a distância mínima de 400m das residências, o ruído produzido foi maior, na maioria das casas são além dos valores admitidos pela norma brasileira, notadamente a NBR 10151 (SERRANO, 2019).

Diversas alegações têm sido feitas relacionando o ruído de aerogeradores a impactos negativos para humanos e animais em regiões próximas a parques eólicos (Figura 02 (a) e (b)). Um estudo mostrou que entre os principais impactos da energia eólica, seria a emissão de ruídos pelas hélices das torres, com consequências negativas para saúde humana como distúrbios do sono, enxaqueca e estresse (SILVEIRA, 2019).



(a)



(b)

Figura 2: Parques eólicos próximos aos animais, crianças e residências
Fonte: (SILVEIRA, 2019).

Em se tratando de saúde do trabalhador os elevados níveis de ruído tem sido um grave problema nos ambientes de trabalho, principalmente nas indústrias. Para obter o controle de ruído em muitas situações, são necessárias medidas de engenharia complexas, com custos elevados e que demandam bom planejamento técnico e financeiro (FILHO, 2014).

Neste contexto, sabendo dos malefícios que a exposição do ruído pode trazer às pessoas, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias para avaliação e predição do ruído em ambientes internos nos setores elétricos que possam ser usadas para avaliar a distribuição do campo acústico do ambiente, bem como a predição e avaliação de possíveis medidas de atenuações dos níveis de ruído, visando dar diretrizes para uma futura estratégia de gestão de ruído ocupacional (FILHO, 2014).

Filho (2014), realizou um estudo na Usina Elétrica de Ilha Solteira, e identificou que nos pisos dos geradores as principais fontes de ruído estão relacionadas com as unidades geradoras e equipamentos auxiliares. Foi analisado o espaço físico do ambiente e definidas todas as normas necessárias para o procedimento de medição, e em seguida foi feito o mapa acústico. Com o mapa acústico, é possível predizer os níveis de ruído nos ambientes de trabalho. A possibilidade de previsão de resultados e custos de projeto permite que a empresa desenvolva um amplo planejamento, estabelecendo metas, ações prioritárias, cronograma de execução e desembolso financeiro para melhorar acusticamente o ambiente.

No caso dos parques eólicos, na maioria das vezes eles são implantados em áreas rurais, nas quais o ruído ambiente é significativamente baixo. De acordo com a NBR 10151 – norma utilizada para avaliação de paisagem sonora de acordo com o zoneamento – estas áreas podem ser enquadradas como áreas de sítios e fazendas, nas quais o nível de pressão sonora ponderado não deve ultrapassar 40dB durante o dia e 35dB durante a noite. Para se ter uma ideia do que esses valores representam, se alguém ficar em silêncio dentro de um quarto com todas as janelas e portas fechadas, em geral, dentro deste será atingido cerca de 35 dB. E, de acordo com a norma técnica, esse mesmo nível em dB tem que ser almejado em ambientes rurais externos (SERRANO, 2019).

A sensação agradável de som reduzido está relacionada ao conforto acústico, que envolve a avaliação do ambiente sonoro conforme a percepção do ouvinte. Quando um local oferece conforto acústico, isso significa que não há ruídos indesejados presentes, resultando em um bem-estar para as pessoas (CHEN, 2017).

Por outro lado, o conforto ambiental refere-se à satisfação experimentada pelas pessoas em um determinado espaço. Estar em um ambiente confortável significa que esse espaço oferece condições favoráveis para a realização de diversas atividades humanas, como lazer, trabalho, descanso ou estudo. Essas condições incluem aspectos psicológicos, acústicos, visuais, qualidade do ar e ergonômicos (FRIEDRICH, 2008).

Em busca desse conforto acústico, pesquisadores tem realizado o mapeamento de ruído em grandes centros urbanos. O mapa de ruído vem sendo desenvolvido por cidades européias em função de suas normas diretivas. A Diretiva 49/EC (PARLAMENTO EUROPEU, 2002) obriga as cidades europeias com mais de 250 mil habitantes a desenvolver mapas acústicos para controle da propagação da energia sonora, visando preservar a qualidade ambiental.

No caso dos parques eólicos, para evitar o impacto sonoro na vizinhança, previamente à instalação do parque, ou fazenda, eólica; medidas preventivas ao ruído devem ser consideradas. E a principal delas, seria a elaboração do mapa de ruído antes da implantação dos parques ou usinas hidrelétricas (SERRANO, 2019).

Quando não é mais possível controlar o posicionamento dos geradores ou equipamentos, e nem se valer de barreiras acústicas ou outras medidas mitigatórias,

recorre-se a medidas de prevenção nos receptores. Essa alternativa ocorre a partir de soluções que garantam o isolamento acústico dos sistemas construtivos das edificações. Essa opção torna-se viável para os casos de residências próximas aos parques eólicos. Quando a construção dos loteamentos seja posterior à implantação dos parques e não seja possível distanciar ainda mais as edificações dos aerogeradores (SERRANO, 2019).

O mapa de ruído tem como finalidade indicar as zonas onde há maiores níveis de ruído, tornando possível a adoção de medidas preventivas aos riscos que a exposição do ruído pode causar a saúde da comunidade. No Brasil, como mostra a figura 03, Fortaleza tomou a iniciativa por meio da Secretaria do Meio Ambiente, e foi a primeira cidade brasileira a ter sua Carta Acústica, apresentada em setembro de 2012 (PROACÚSTICA, 2012).

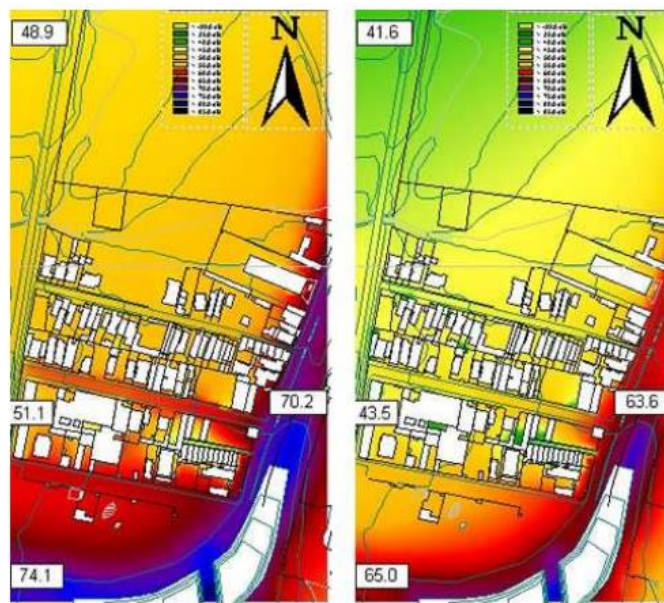


Figura 3: Mapa sonoro do aeroporto de Fortaleza: períodos diurno e noturno
Fonte: (PROACÚSTICA, 2012).

Em São Paulo, foi instaurada a Lei nº 16.499/2016 que dispõe sobre a elaboração do Mapa de Ruído Urbano e estabelece que a prefeitura terá um prazo de sete anos para desenvolver e implantar o mapa na cidade. Entre os instrumentos previstos para serem utilizados pela Prefeitura e a sociedade no combate à poluição sonora estão: identificar a diversidade de fontes emissoras de ruído; fomentar o uso de novas tecnologias para mitigar as emissões de ruído; elaborar Plano de Ação

para redução de ruídos; e orientar a adoção de ações e políticas públicas para a melhora da qualidade ambiental e urbanística da cidade (PROACÚSTICA, 2012).

No Brasil, para isentar parques eólicos e resguardar comunidades vizinhas dos impactos ambientais negativos associados às atividades eólicas, os processos de licenciamento ambiental devem ser acompanhados de estudo de predição de ruído e a sua influência nas comunidades vizinhas aos parques eólicos, como por exemplo a elaboração de mapas de ruídos (SERRANO, 2019). Um exemplo de mapa de ruídos de parque eólico pode ser visto na figura 04.

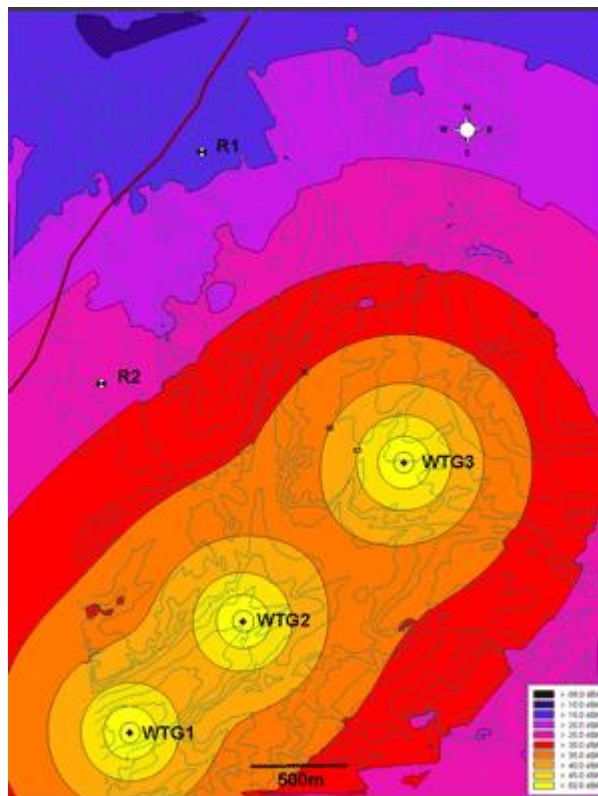


Figura 4: Exemplo de mapeamento de ruídos de parque eólico
Fonte: (SERRANO, 2019).

Para controle de ruído interno, como pode-se observar na figura 05, a utilização de materiais de absorção sonora tem sido uma boa alternativa porque parte da energia acústica é transformada em energia térmica através da viscosidade do ar, o que ocorre tanto em materiais porosos quanto em materiais fibrosos. Estes materiais acústicos de absorção sonora podem ser usados para revestimento interno

das paredes dos ambientes, de forma que seja garantido um campo de pressão acústica tal que favoreça o conforto acústico do ambiente (VIEIRA, 2008).

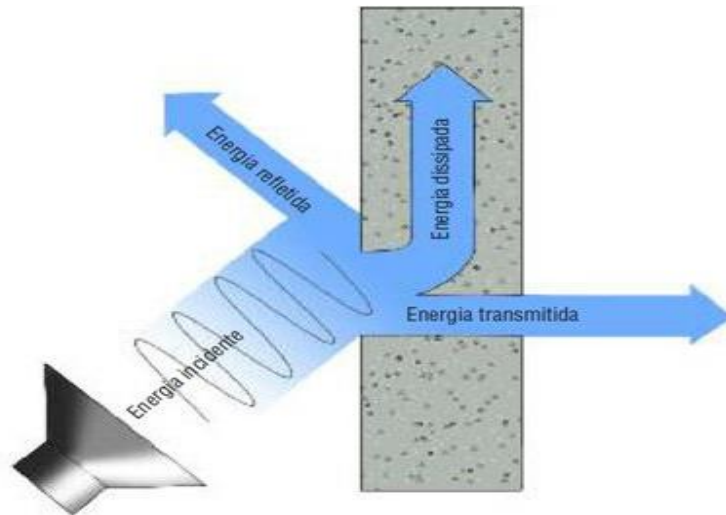


Figura 5: Ilustração de como o som se comporta ao atingir os materiais acústicos

Fonte: (SERRANO, 2019).

A caracterização de absorção acústica de um material é determinada pelo coeficiente de absorção sonora que depende principalmente da frequência, ângulo de incidência do som, tipo de campo sonoro, densidade, espessura e estrutura interna do material. A escolha do material, além dos coeficientes de absorção e da frequência do ruído, depende também dos custos, características em altas temperaturas, peso e volume em relação ao espaço disponível, rigidez mecânica, fixação e manutenção, aparência e pintura, etc (VIEIRA, 2008).

Existem várias opções de materiais que podem ser utilizados para reduzir o ruído no interior de edifícios. Os materiais acústicos mais comuns usados para o tratamento de ambientes são os materiais fibrosos e porosos, devido à sua alta capacidade de absorção sonora. Os materiais fibrosos consistem em fibras entrelaçadas, enquanto os materiais porosos são compostos por numerosos poros vazios ou espaços de ar (FLACH, 2012).

Um exemplo de material acústico é a lã de rocha, que tem um bom desempenho em frequências médias e altas (conforme citado por CROCE, 2018). Esse material é produzido a partir da degradação de rochas basálticas vulcânicas (segundo TRISOFT, 2019). Outro material comumente utilizado é a fibra de vidro, mas é importante destacar que a inalação dos pequenos fragmentos desse material pode causar problemas de saúde para os seres humanos (conforme mencionado por ECYCLE, 2019). Observa-se com base nessas informações, a necessidade da adoção de aproveitamento de matérias primas de fontes renováveis que possibilitam a execução das atividades sem prejudicar o meio ambiente, além de contribuir com o desenvolvimento humano e crescimento econômico.

Pesquisadores têm se dedicado ao desenvolvimento de novos materiais acústicos sustentáveis que podem ser aplicados na indústria da construção para isolamento e absorção sonora. Dentre as fibras que estão sendo estudadas estão a fibra de coco (conforme mencionado por NOR et al., 2004), palmeira (LATIF et al., 2015), cana-de-açúcar e bambu (OUTA, 2017), sisal (AZEVEDO e NABUCO, 2005), entre outras.

Santos et al (2005) estudaram a absorção acústica da bucha vegetal, por meio de estudos iniciais, o qual apresentou bons resultados técnicos acústicos nas frequências de 1000Hz a 4000Hz. A figura 06 mostra a forma de cultivo da bucha, com o uso de carramanchões, o mais utilizado para condução da planta; o fruto propriamente dito, ainda verde ou seco com casca; e já descascado e seco, na forma em que é utilizado comercialmente.



Figura 6: Bucha vegetal

Fonte: Santos et al., 2005.

Neste contexto, o presente trabalho desenvolveu um estudo a respeito do potencial acústico poroso sustentável a partir da extração da bucha vegetal ao natural, tingida com tinta de tecido e com gesso acartonado. A utilização do gesso acartonado é pelo fato dele possuir uma alta resistência ao fogo, podendo servir como base para cobrir paredes em torno de lugares quentes, justificando assim o teste de inflamabilidade da bucha vegetal quando associada ao gesso acartonado.

1.2 MOTIVAÇÃO

A energia eólica, utilizada comercialmente desde 1976, vem apresentando um impulso em sua geração nas últimas décadas, devido ao esgotamento dos combustíveis fósseis, o aumento do aquecimento global e a poluição. No Brasil, o primeiro aerogerador foi instalado em 1992, mas foi somente em 2002 que a instalação de usinas eólicas no país se tornou expressiva. A respeito dos danos ambientais, sabemos que entre os principais temos o ruído provocado pela operação dos aerogeradores. Sabemos que a exposição ao ruído provocado por esses equipamentos a partir do posicionamento deles pode levar a problemas sérios de incômodo na vizinhança em regiões habitadas (SOVERNIGO, 2009).

Geralmente, os parques eólicos são implantados em áreas rurais, nas quais o ruído ambiente é significativamente baixo. De acordo com a NBR 10.151, norma utilizada para avaliação da paisagem sonora de acordo com o zoneamento – estas áreas podem ser enquadradas como áreas de sítios e fazendas, nas quais o nível de pressão sonora ponderado não deve ultrapassar 40dB durante o dia e 35dB durante a noite.

Uma das formas de evitar o ruído proveniente dos parques eólicos quando não se pode mais controlar o posicionamento dos aerogeradores, nem se valer de barreiras acústicas ou outras medidas mitigatórias, recorre-se a medidas de prevenção nos receptores. Para utilizar essa alternativa, precisa-se partir para soluções que garantam o isolamento acústico do sistema construtivo das edificações residenciais. Esta opção se torna viável para os casos de loteamento urbanos vizinhos aos parques eólicos cuja construção seja posterior à implantação dos parques e não seja possível distanciar ainda mais as edificações dos aerogeradores (SERRANO, 2019).

Por se tratar de uma fonte de energia renovável, e que vem expandindo a utilização, o presente trabalho visa trazer alternativa de isolamento acústico de uso sustentável utilizando a bucha vegetal.

A Bucha Vegetal (*Luffa cylindrica*) é uma planta herbácea trepadeira, da família das cucurbitáceas, cultivada em clima tropical, principalmente em regiões mais quentes e úmidas. Possui um fruto oblongo, de até 35,0 cm de comprimento, cilíndrico ou trigono, bruscamente achatado no ápice. Quando maduros e secos, o esqueleto é constituído por um intrincado tecido filamentososo que justifica plenamente o nome “esponja vegetal” (CORRÊA, 1978).

A bucha vegetal atualmente é mais utilizada para higiene pessoal. No entanto, com as adaptações da industrialização, os produtos foram melhorando a estética e funcionalidade. Trata-se de um produto de origem vegetal de fonte renovável e cultivo simples sem agredir o meio ambiente e decompõe-se organicamente, ou seja, é biodegradável (PICADA, 2002).

Por ter como característica uma estrutura porosa com permeabilidade ao fluxo de ar, faz com que a bucha vegetal seja um material com potencialidade de absorvente sonoro, e sua biocompatibilidade remete à preocupação cada vez mais atual com a “racionalização do uso da energia, o respeito ao meio ambiente e a utilização de recursos renováveis nos processos de industrialização” (PICADA, 2002).

A utilização da bucha vegetal, de forma sustentável, proporcionará o crescimento desta cultura, com a valorização do produto e surgimento de novos mercados consumidores. Por se tratar de um material de baixo custo e fácil manuseio, podendo ser adaptado a diferentes formas, tratamento e tingimento.

A proposta neste estudo ao utilizar a bucha vegetal não será em sua condição natural (SANTOS et al., 2005), mas com adição de aglomerante na confecção das amostras, com tamanhos e espessuras diferentes utilizando o tubo de impedância sonora. É proposto também, que o material desenvolvido a partir da bucha vegetal, possa servir como alternativa para isolamento acústico dos sistemas construtivos das edificações residenciais vizinhas aos parques eólicos cuja construção seja posterior à implantação dos parques.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

- Estudar e propor a utilização da bucha vegetal na geração de material acústico sustentável e vegetal.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Estimar o coeficiente de absorção sonora das amostras desenvolvidas com a fibra utilizando o tubo de impedância sonora;
- Identificar o potencial da bucha vegetal em se tornar um material acústico por meio de testes utilizando o tubo de impedância sonora;
- Como extrair e manusear a bucha vegetal;
- Determinar formas de utilização da bucha vegetal para aplicações na arquitetura de ambientes;
- Após a confecção das amostras, determinação do coeficiente de absorção sonora utilizando o tubo de impedância acústica;
- Propor alternativas de isolamento acústico sustentável dos sistemas construtivos das residências próximas aos parques eólicos, nos casos que não seja mais possível distanciar ainda mais as edificações dos aerogeradores.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia apresentada a seguir foi seguida para alcançar os objetivos propostos para realização desse estudo (Figura 07):

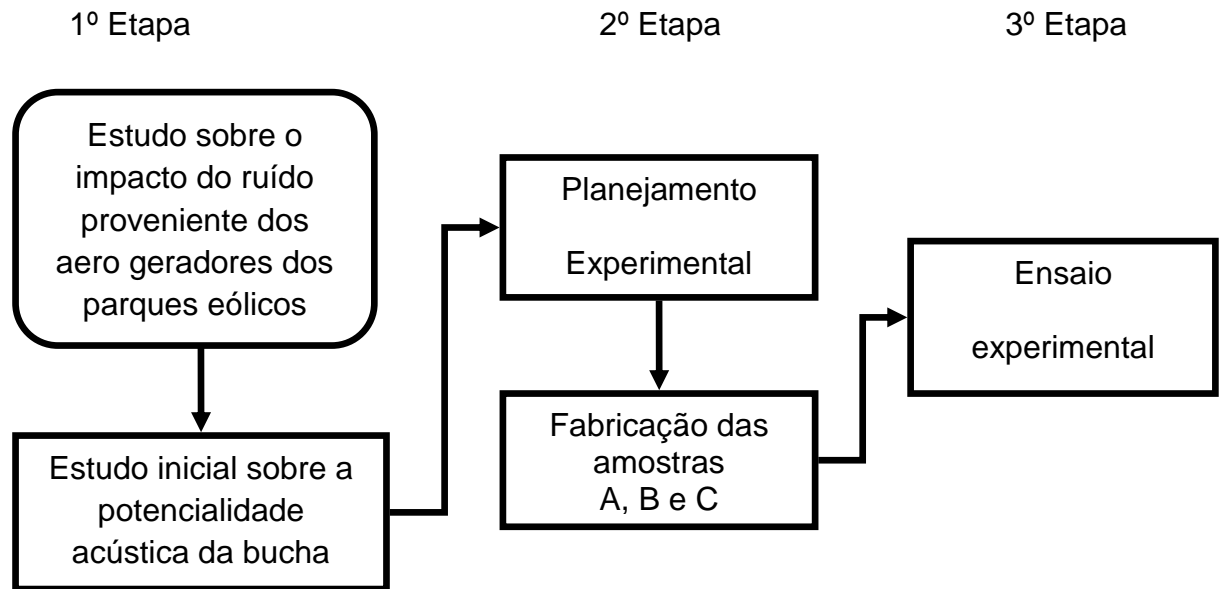


Figura 7: Fluxograma da metodologia desenvolvida.

A primeira etapa do trabalho consistiu em apresentar o impacto sonoro do ruído provocado pelos aerogeradores dos parques eólicos e um estudo inicial sobre a potencialidade acústica da bucha vegetal, extração e tratamento. Após o levantamento bibliográfico, foi realizado um planejamento experimental o qual foi determinado a espessura e a tinta utilizada para tingimento das amostras. Ainda na segunda etapa, foram confeccionadas as amostras. A primeira amostra (A) fibra no estado natural, segunda amostra (B) com as fibras tingidas e a terceira com uma camada externa de gesso e interna de fibra e amostra (C).

Por fim, foi feito ensaios experimentais utilizando o tubo de impedância sonora para a determinação do coeficiente de absorção sonora das amostras seguindo a ISO 10534:1998.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 06 capítulos. O capítulo 01 apresenta uma introdução, sobre os assuntos relacionados a parques eólicos, poluição sonora, conforto acústico e materiais acústicos sustentáveis. É apresentada também a motivação do trabalho e seus objetivos.

O capítulo 02 trata-se da revisão bibliográfica, levantando assuntos a respeito do desenvolvimento, criação e resultados alcançados dos materiais acústicos de uso sustentável e as aplicações dos mesmo na área da engenharia de energia.

No capítulo 03, está a fundamentação teórica contendo as definições, formulações e normativas para a determinação do coeficiente de absorção sonora das amostras dos materiais acústicos utilizando o tubo de impedância e as propostas de utilização nos parques eólicos.

Na metodologia, capítulo 04, é apresentada a extração e tratamento da bucha vegetal, o detalhamento da fabricação das amostras do material acústico, o procedimento do ensaio experimental utilizando o tubo de impedância e a estimativa do coeficiente de absorção sonora das amostras.

Os resultados adquiridos a partir da metodologia experimental, tal como a estimativa do coeficiente de absorção sonora são apresentados no capítulo 05.

No capítulo 06 trata sobre as conclusões adquiridas após o desenvolvimento e análise dos resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a classificação dos materiais fibrosos e porosos acerca dos materiais acústicos sustentáveis. Por meio dessa revisão foi possível analisar o procedimento de preparação das amostras acústicas, bem como a espessura da amostra acústica pode influenciar na atenuação do som. Podendo então, determinar quais serão os processos de confecção, densidade e espessura das amostras, a serem adotadas neste estudo inicial

2.1 MATERIAIS FIBROSOS E POROSOS

Geralmente os materiais fibrosos e porosos possuem uma alta absorção acústica em altas frequências e funcionam fundamentalmente com a dissipação de energia sonora pelo atrito, pois as moléculas de ar movimentam-se no interior do material mediante a passagem da onda sonora (BISTAFA, 2006). Nos materiais porosos as ondas sonoras incidentes atravessam os poros do material e são atenuadas por meio de múltiplas reflexões e atrito, transformando-se em energia térmica. Enquanto que nos materiais fibrosos essas ondas entram pelos vazios entre as fibras fazendo-as vibrar junto com o ar e dissipando a energia incidente por meio do atrito entre essas fibras, resultando na conversão desse movimento em energia térmica (GERGES, 2000). A Figura 8 exemplifica a variação típica do coeficiente de absorção sonora por banda de frequência para esses materiais absorventes.

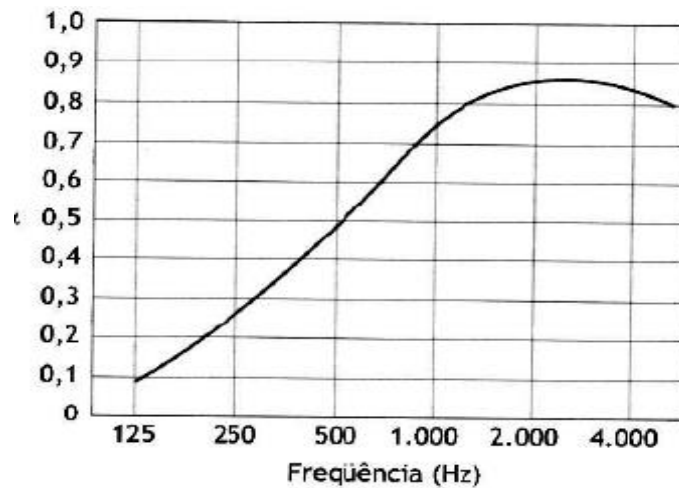


Figura 8: Variação de Coeficiente de absorção sonora para materiais porosos e fibrosos.

Fonte: (BISTAFA, 2006).

De acordo com Bistafa (2006), diversos fatores influenciam a capacidade desses materiais de absorver as ondas sonoras, como as variações de densidade, camada de ar, espessura e aplicação de tinta. A variação da espessura influencia diretamente o coeficiente de absorção sonora do material (Figura 9a), pois o aumento dessa característica implica também um aumento significativo em suas propriedades absorvedoras, de modo que o material passa a absorver uma gama de frequências mais ampla. Já o efeito da camada de ar por trás do material faz com que absorva, de forma bastante eficaz, as baixas frequências (Figura 9b).

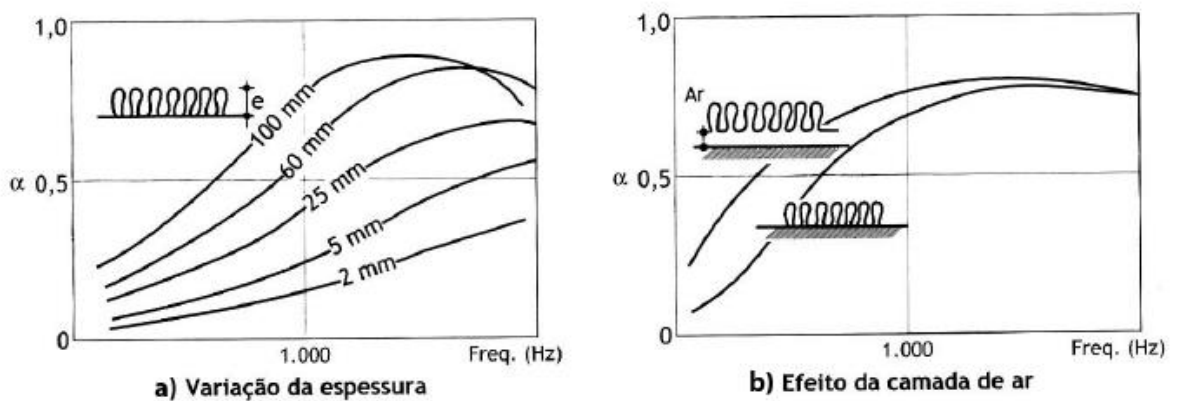


Figura 9: Fatores que influenciam a absorção sonora de materiais porosos e fibrosos.

a) Variação da espessura; b) Efeito da camada de ar.

Fonte: (BISTAFA, 2006).

Com a diminuição da densidade, o material passa a absorver frequências mais altas (Figura 9a). E, por fim, com a aplicação de tinta o absorvedor se comporta de forma a apresentar um pico absorção em determinadas frequências (Figura 9b). As principais influencias são a variação de espessura e o efeito da camada de ar, pois modificam significativamente o comportamento acústico desses materiais (BISTAFA, 2006).

Para avaliar a eficácia de um tratamento acústico que utiliza materiais porosos e fibrosos, geralmente recorre-se aos coeficientes de absorção sonora. Esses coeficientes podem ser obtidos por meio de métodos analíticos, numéricos ou experimentais, e representam a proporção de energia acústica absorvida pelo sistema em relação à energia acústica incidente. Eles são expressos em uma escala de 0 a 1, sendo que ao multiplicar esse valor por 100, obtemos a porcentagem de absorção sonora do material em uma frequência específica. O coeficiente de absorção sonora pode ser medido diretamente em uma câmara reverberante ou calculado utilizando um tubo de impedância (SILVA, 2007).

A lã de vidro, é conhecida como um absorvedor tipo fibroso, pois é constituído fundamentalmente de fibra de vidro, sendo um produto que existe sob muitas formas em termos de disponibilidade comercial no Brasil. De modo que podem ser encontradas na forma de mantas, feltros, cordões ou aplicada por processo de jateamento. Assim, as propriedades acústicas desse elemento absorvedor são bem conhecidas e previsíveis. O diâmetro das fibras geralmente pode variar de 2 a 15mm e a densidade aparente encontrada nos feltros, mantas e painéis está situada na faixa de 10 a 100Kg/m³. Esse material é bastante frágil, e para melhorar sua resistência às vibrações e eventual fluxo de fluidos pode ser usado um processo de selamento com resina, todavia esse método faz com que o material se torne combustível e, conseqüentemente, limita suas características quanto ao alastramento superficial do fogo (GERGES, 2000).

2.2 MATERIAIS ACÚSTICOS SUSTENTÁVEIS

Os estudos iniciais sobre as propriedades acústicas de materiais fibrosos foram conduzidos por Delany et al. (1969). Eles determinaram o coeficiente de absorção sonora da fibra de vidro e lã mineral por meio de equações que descrevem a resistência do material ao fluxo de ar.

A pesquisa sobre materiais que utilizam substâncias naturais começou com Santos et al. (1992). Eles analisaram o desempenho acústico de blocos cerâmicos adicionados com casca de arroz e compararam a absorção sonora de embalagens de ovos e papelão. Os resultados indicaram que os materiais desenvolvidos têm um bom potencial como absorvedores acústicos.

Em 1996, Ballagh investigou o coeficiente de absorção sonora da lã de ovelha em diferentes amostras, variando em espessura de 6 a 150 mm e tamanho de fibra de 22 a 35 μm . Utilizando um tubo de impedância, o estudo concluiu que todas as amostras apresentaram coeficientes de absorção sonora satisfatórios em altas frequências.

Foi apresentado a absorção sonora de amostras de 24, 25, 50 e 75mm que foram obtidas a partir da reutilização de sobras da madeira utilizadas na construção de MDF, e comparado o coeficiente de absorção sonora de uma amostra de 9mm coletando dados experimentais após a criação e depois de dois anos armazenadas, foi concluído que a absorção sonora do material diminuiu após os dois anos de armazenamento (WASSILIEFF, 1996).

Foram realizadas análises das propriedades de absorção sonora da fibra de bambu usando um tubo de impedância. Amostras de diferentes espessuras, sendo 25, 50 e 75 mm, foram criadas, e as fibras de bambu foram classificadas em faixas de tamanho de 90 a 125 μm , 125 a 210 μm e 210 a 425 μm , correspondendo a cada uma das espessuras mencionadas anteriormente. O estudo também investigou a influência da densidade da fibra na absorção sonora e comparou os coeficientes de absorção sonora obtidos experimentalmente para a fibra de bambu com os coeficientes da fibra de vidro, como método de verificação. Os resultados indicaram que as amostras de fibra de bambu apresentaram bons desempenhos acústicos e os resultados foram semelhantes aos da fibra de vidro (KOIZUMI et al., 2002).

Com base em um estudo conduzido por Nor et al. (2004), foi realizado uma análise da capacidade de absorção sonora de duas amostras feitas de fibra de coco. O estudo envolveu a simulação de uma amostra com 20 mm de espessura e densidade de 74 kg/m³. Foram realizadas três simulações distintas: na primeira, foi avaliado o coeficiente de absorção sonora do material quando colocado diretamente ao lado de uma parede rígida, em seguida, foi considerado o mesmo material com uma distância de 50 mm da parede. Na segunda simulação, a amostra de fibra de

coco foi revestida com um painel micro perfurado de alumínio com 1 mm de espessura. Os resultados obtidos foram comparados com aqueles da amostra sem revestimento que estava posicionada ao lado da parede rígida, conforme a primeira simulação. Na terceira simulação, foram avaliados seis cenários diferentes. Os três primeiros consistiam apenas da placa de fibra de coco, sendo que o primeiro caso possuía um espaço de ar entre a placa e a parede rígida, o segundo caso tinha duas placas com um espaço de ar entre elas e a parede rígida, enquanto o terceiro caso incluía três placas com espaços entre cada uma delas. Nos casos 4, 5 e 6, uma das placas foi revestida com um painel micro perfurado de alumínio, seguindo as configurações dos casos 1, 2 e 3, respectivamente.

Com base nas simulações conduzidas, foi determinado que a introdução de um espaço de ar entre as amostras e a parede rígida teve um efeito positivo na absorção sonora, em comparação aos coeficientes de absorção sonora obtidos quando as amostras estavam diretamente adjacentes à parede rígida. No caso das amostras revestidas com painéis micro perfurados de alumínio, os resultados foram favoráveis para frequências baixas e médias, demonstrando um coeficiente de absorção de aproximadamente 0,9 a 1250 Hz. Entretanto, em altas frequências, os valores apresentaram uma queda acentuada (NOR, et al., 2004).

Em um estudo realizado por Azevedo e Nabuco (2005), o coeficiente de absorção foi experimentalmente determinado utilizando um tubo de impedância e utilizando fibra de sisal como material. Duas amostras foram preparadas: uma de 50 mm de fibra de sisal sem processamento e outra de um tapete com 6 mm de espessura, sendo o sisal o principal componente (Figura 10). Com base nessas amostras, foram criados painéis de tamanho 600 mm x 1200 mm, com espessuras de 25 mm e 50 mm, e densidade de 140 kg/m³. Após o experimento, os resultados dos coeficientes de absorção sonora foram comparados com os obtidos para a fibra de sisal sem processamento. A conclusão foi que, para frequências acima de 800 Hz, o sisal apresenta um coeficiente de absorção sonora superior a 0,8, podendo chegar a 0,99.

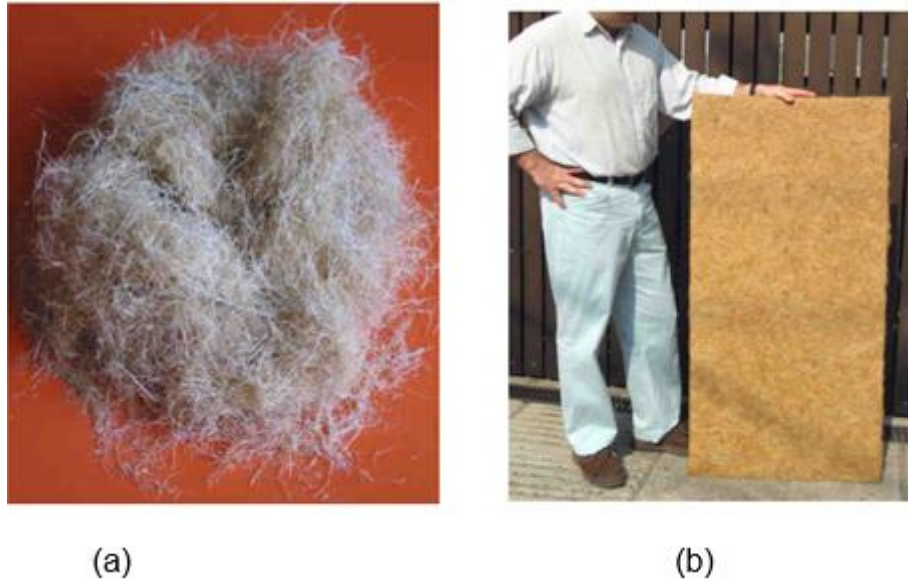


Figura 10: (a) fibra do sisal; (b) painel do sisal
Fonte: AZEVEDO E NABUCO, 2005.

Santos et al. (2005) realizaram um estudo inicial sobre a potencialidade acústica da bucha vegetal como absorvente sonoro. O procedimento de medição seguiu as recomendações da norma internacional ISO 354:1985, sendo que o ensaio foi realizado em câmara reverberante no Laboratório de Termo Acústica da UFSM. Os ensaios foram realizados somente com o material (bucha vegetal) em estado natural e verificou-se que os melhores desempenhos ocorreram em médias e altas frequências.

Considerando a utilização de fibra de coco com diversas densidades (de 18 a 130 kg/m³) e espessuras (de 0,05 a 0,10 m), Vieira (2008) realizou uma caracterização das propriedades acústicas de 6 painéis fabricados. A determinação do coeficiente de absorção foi feita por meio do uso do tubo de impedância. Para a metodologia experimental, foram empregadas 18 amostras retangulares de dimensões 0,60 x 0,50 m, conforme ilustrado na Figura 11, dentro de uma câmara reverberante em escala reduzida.

Com base nos resultados dos experimentos, observou-se que as amostras com densidade de 130 kg/m³ e espessura de 0,10 m, submetidas ao ensaio no tubo de impedância, apresentaram os melhores resultados, com um coeficiente de absorção sonora próximo a 0,98 a 4600 Hz. Por outro lado, utilizando a câmara reverberante em escala reduzida, as amostras mostradas na Figura 12, com

densidade de 18 kg/m³ e espessuras de 0,05 m e 0,10 m, juntamente com a amostra de densidade de 60 kg/m³ e espessura de 0,05 m, apresentaram resultados menos satisfatórios na faixa de frequência de 0 a 8000 Hz. No entanto, as demais amostras obtiveram bons resultados em frequências médias e altas.



Figura 11: Amostras utilizadas no tubo de impedância

Fonte: (VIEIRA, 2008).



Figura 12: Amostras utilizadas na minicâmara reverberante

Fonte: (VIEIRA, 2008).

Dentro do contexto da criação de materiais acústicos sustentáveis utilizando a fibra de coco, Zulkifli et al. (2010) desenvolveram painéis adicionando látex à fibra. Além disso, para a criação das amostras, foi aplicada uma camada superior feita de um painel perfurado de zinco. Os ensaios foram realizados em amostras com diâmetros de 100 mm e 28 mm, utilizando o tubo de impedância como método

experimental. Os resultados foram coletados tanto das amostras com a adição do painel perfurado quanto das amostras sem ele. A partir dos coeficientes de absorção sonora obtidos no experimento, os autores concluíram que, na faixa de frequência de 600 a 2400 Hz, a amostra com o painel perfurado apresentou valores superiores. No entanto, na faixa de frequência de 2400 a 4100 Hz, a amostra sem o painel perfurado demonstrou resultados melhores.

Um estudo conduzido por Cunha (2012) explorou as propriedades acústicas de compósitos feitos de gesso e fibra de coco. Foram fabricadas duas camadas de fibra de coco com espessuras de 8 mm e 10 mm, pesando 223,40 g e 279,30 g, respectivamente. Os painéis utilizados no experimento eram compostos por uma camada externa de gesso e uma camada interna da manta de fibra de coco. As placas tinham dimensões de 500 x 500 x 24 mm. Três amostras foram criadas: a primeira contendo apenas gesso, a segunda com gesso e a manta de fibra de coco de 8 mm de espessura, e a terceira com gesso e a manta de fibra de coco de 10 mm de espessura. O coeficiente de absorção sonora foi determinado utilizando o tubo de impedância. Os resultados revelaram que, na faixa de frequências de 102,28 Hz a 1110 Hz, as amostras contendo fibra de coco obtiveram melhores resultados, enquanto acima de 1200 Hz, a amostra composta exclusivamente por gesso apresentou coeficientes de absorção sonora superiores.

Em outro estudo, realizado por Putra et al. (2012), foi avaliado o potencial de absorção sonora da fibra da cana-de-açúcar por meio da criação de amostras com aproximadamente 13 cm de espessura e adição de poliuretano e, posteriormente, poliéster. Diferentes proporções entre a fibra e os ligantes foram testadas: 90:10, 80:20, 70:30 e 60:40. As fibras foram misturadas aos ligantes, prensadas a quente e cortadas em tamanhos entre 5 e 10 mm. O coeficiente de absorção sonora foi obtido utilizando o tubo de impedância, e os resultados mostraram que as amostras com adição de poliuretano e poliéster apresentaram resultados semelhantes, atingindo aproximadamente 0,8 em 4500 Hz.

Outa (2014) conduziu um experimento para investigar as propriedades de absorção da fibra de cana-de-açúcar com adição de cola branca e cola sintética. O processo envolveu a extração do caldo da cana, secagem do bagaço ao ar livre por um período indeterminado, extração da fibra por meio de uma peneira com aberturas específicas (0,70 mm e 1,68 mm) e moldagem das amostras em um molde cilíndrico.

As amostras foram posteriormente secas em um forno por 24 horas a 120 °C. O coeficiente de absorção sonora foi determinado utilizando uma metodologia experimental adequada. Concluiu-se que a fibra de cana-de-açúcar com adição de cola branca e cola sintética não apresentou coeficientes de absorção sonora satisfatórios. Os melhores resultados foram observados na amostra 2, com um coeficiente de absorção sonora de 0,38 em 500 Hz.

Prosseguindo com a investigação sobre a fibra proveniente da cana-de-açúcar, Outa et al. (2017) examinaram a capacidade de absorção sonora da fibra alongada da cana, após passar pelo processo de mercerização. Para o experimento, utilizaram um dispositivo de impedância, onde inseriram uma amostra com 20 mm de espessura, composta exclusivamente pela fibra da cana com um comprimento de 150 mm. Após determinar o coeficiente de absorção sonora da amostra, concluíram que a cana-de-açúcar, quando não adicionada de aglutinantes, não apresenta resultados satisfatórios em termos de absorção sonora, pois o melhor valor encontrado foi de aproximadamente 0,21, na frequência de 500 Hz.

Em outra pesquisa, Iannace (2017) determinou o coeficiente de absorção sonora de vários materiais naturais, incluindo o feno - uma gramínea utilizada como alimento para o gado. Foram feitas três amostras sem a adição de ligantes, com espessuras de 60, 80 e 120 mm, respectivamente. Utilizou-se o tubo de impedância para determinar o coeficiente de absorção sonora dessas amostras. Os resultados indicaram que a amostra de 60 mm apresentou um coeficiente de absorção baixo até cerca de 1400 Hz, mas na faixa de frequência entre 1400 e 2000 Hz houve um aumento nos coeficientes, atingindo o valor de 0,6. Os melhores resultados foram obtidos com a amostra de 120 mm, cuja espessura apresentou um coeficiente de absorção de 0,8 em 1550 Hz.

Karaky et al. (2019) examinaram a capacidade de absorção sonora da polpa de beterraba desidratada ao adicionar amido de batata. Foram produzidas amostras com uma espessura de 5 cm, contendo proporções de 10, 20, 30 e 40% de amido. Utilizando o tubo de impedância para determinar o coeficiente de absorção sonora, eles analisaram os resultados e concluíram que as amostras com 20% e 30% de amido absorveram até 70% do som na faixa de frequência de 270 a 700 Hz. Além disso, a amostra contendo 10% de amido apresentou um bom desempenho na faixa de frequência de 700 a 1000 Hz, absorvendo aproximadamente 75% do som.

O cerrado brasileiro apresenta uma das maiores biodiversidades do mundo e possui dezenas de espécies endêmicas. No entanto apenas 20% de sua área original está preservada. Bento et al. (2019) utilizou a casca rígida encontrada no baru, que atualmente é considerada um resíduo e concluiu durante os estudos realizados que a casca rígida externa apresentava uma geometria curiosa e sua forma aproximava-se da espiral de Fibonacci, que tem origem na sequência 1,1,2,3,5... aproximando-se da curvatura. Levando em consideração o grave acidente que matou 242 pessoas na Boate Kiss em 2013 ao se utilizar um colchão de poliuretano como isolamento acústico, o trabalho utilizou o resíduo da casca de baru para a confecção de uma placa de isolamento acústico sustentável (Ecoplaca). Seguindo o conceito de Upcycling, concluíram ao final do estudo que a Ecoplaca tem custo de fabricação reduzido e apresentou bons resultados técnicos acústicos e a baixa inflamabilidade quando comparada a materiais poliméricos oriundos do petróleo (Figura 13).



Figura 13: Ecoplaca a partir da casca externa do baru
Fonte: (BENTO et al., 2019).

Após o levantamento bibliográfico, determinou-se a matéria prima sendo a bucha vegetal, por ser um material que pode ser encontrado com facilidade na natureza e por ter fácil manuseio, pois a parte experimental foi feita de forma artesanal, a metodologia que foi seguida neste trabalho utilizando o tubo de impedância de acordo com a ISO 10534:1998 contando que o equipamento esteve

disponível no Laboratório de Acústica e Vibração – Faculdade Gama - UnB e as formas que as amostras foram confeccionadas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão expostos os conceitos fundamentais para compreender a metodologia adotada neste estudo. Primeiramente, será feita uma distinção entre som e ruído, além de abordar a propagação do som em ambientes fechados. Além disso, será fornecida uma definição do coeficiente de absorção sonora. Também serão apresentadas as equações correspondentes ao cálculo do coeficiente de absorção sonora, de acordo com a norma ISO 10534-2:1998.

3.1 SOM E RUÍDO

Do ponto de vista físico, o som é definido como uma perturbação que se propaga em meios materiais, capaz de ser percebida pelo aparelho auditivo humano. Essa perturbação no meio pode ser gerada por um corpo que vibra, transmitindo suas vibrações ao meio que está inserido. Logo, as moléculas desse meio sofrem, de modo alternado, compressões e rarefações, seguindo o movimento do corpo que iniciou esse deslocamento (DE MARCO, 1982).

De acordo com Gerges (1992), tanto sons quanto ruídos são produzidos por uma fonte sonora. Devido à sensibilidade do ouvido humano, uma pequena variação na pressão sonora é suficiente para gerar ruído, desde que a fonte seja considerada uma fonte sonora. Na área da acústica, é comum utilizar valores de frequência f , expressos em Hz (hertz, ou ciclos por segundo), e esses valores são calculados conforme a equação (1).

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo T o período, o que é definido como o tempo necessário para que um ciclo se complete.

Existem dois conceitos importantes relacionados ao som, pois quando se trata de seu estudo fundamental pode-se abordar seu aspecto físico, os quais são as perturbações físicas que ocorrem em um meio de propagação. Logo, esse primeiro conceito caracteriza o som como todo e qualquer distúrbio propagado por um meio

elástico que causa alteração de pressão e oscilação de partículas, podendo ser detectados pela audição ou por meio de instrumentos de medição (BERANEK, 1996). Ou pode-se abordar o segundo conceito como sensação sonora, ou seja, aquela qual afeta os sentidos, sendo captada pelo ouvido como som audível.

Existem diversas definições de som encontradas na literatura. Bistafa (2006) distingue-o do ruído. Segundo o autor, o ruído é caracterizado como uma perturbação que causa desconforto auditivo, ao contrário do som, que é considerado algo agradável de se ouvir. Rienstra e Hirschberg (2014) definem o som como uma variação de pressão que se propaga como ondas em um meio, sendo perceptível ao ouvido humano, que é capaz de detectar frequências na faixa de 20 Hz a 20 kHz.

3.2 PROPAGAÇÃO DO SOM EM RECINTOS FECHADOS

A propagação de ondas sonoras em espaço fechado gera alguns fenômenos acústicos em seu interior, como a reflexão, transmissão, absorção e difusão, os quais são diretamente influenciados pelas características da onda, como frequência, intensidade sonora, características físicas do meio em que está inserida, dentre outros (BERANEK, 1996).

O som se propaga em um meio devido à oscilação das partículas em torno de sua posição de equilíbrio. Ou seja, uma partícula que vibra transmite seu movimento à partícula adjacente e assim consecutivamente gerando a propagação da onda sonora. Ainda, de acordo com Beranek (1996) esse movimento ondulatório pode ser harmonioso gerando um som, que trata de uma percepção sonora agradável, ou pode ser desagradável, ou não harmonioso, gerando um ruído, contudo essa classificação depende, também, de análises subjetivas do indivíduo inserido no recinto.

Apesar da classificação do som em um recinto ter um caráter também subjetivo, seu funcionamento no interior de determinado local é bastante objetivo e assim pode-se controlar alguns aspectos desse som aprisionado para elevar a qualidade acústica do local. Logo, o campo acústico no interior de recintos é uma combinação do som que provém diretamente da fonte, ou seja, do emissor que causa a vibração das partículas, com o som que é refletido pelas superfícies que delimitam esse mesmo recinto (BISTAFA, 2006).

3.3 COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA

O controle de ruído se dá através de materiais absorventes de energia sonora. Normalmente, os materiais caracteristicamente ‘bons absorvedores sonoros’ são leves, porosos e/ou fibrosos, pois apresentam uma boa estrutura de espaços vazios ou microcavidades. A composição desses materiais se dá em duas fases:

- Sólida, que é o material que compõe o ‘esqueleto’, geralmente são as fibras e espumas.
- Fluida, que normalmente é o ar contido no interior dos poros ou interstícios.

A interação entre essas duas fases faz com que a energia sonora dissipe, sendo convertida em calor através dos meios viscosos, anexos às camadas de contorno viscosas criadas pelo cisalhamento do fluido em regiões adjuntas a superfície das fibras; Meios térmicos, relacionados com as camadas térmicas de contorno ocasionadas pelos fluxos de calor que ocorrem entre o fluido e as fibras; e pelos meios estruturais que relacionam as perdas ligadas à flexão das fibras que compõem a estrutura (PAULA, 2020).

Para se tratar acusticamente um recinto fechado com bastante eficácia é necessário alterar suas características de absorção sonora. Logo, essa característica dos materiais é a propriedade que lhes permite atenuar parte da energia que incide sobre os mesmos, de modo a transformar essa energia incidente. Assim, essa absorção depende de alguns fatores como o tipo da superfície, a frequência da onda, o ângulo na qual incide e das formas de aplicação do sistema em que o material é constituinte (DOMINGUES *apud* OLIVEIRA, 2009).

A capacidade de uma superfície em absorver o som é dada pelo coeficiente de absorção sonora (α):

$$\alpha = \frac{I_{\text{absorvida}}}{I_{\text{incidente}}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde $I_{\text{absorvida}}$ é a intensidade sonora absorvida (W/m^2) e $I_{\text{incidente}}$ é a intensidade sonora do som incidente (W/m^2), portanto α é adimensional.

O coeficiente de absorção sonora varia de acordo com a frequência do som incidente e, é interessante destacar, que geralmente aumenta de acordo com a espessura e a densidade do material (FAHY, 2000).

Para Everest (2009), o coeficiente de absorção é usado para classificar os materiais de acordo com a atenuação sonora que os mesmos proporcionam e pode variar conforme o ângulo de incidência da onda sonora. Para seu cálculo é considerado um ambiente no qual o som é difuso, ou seja, atinge o material por todos os possíveis ângulos propiciando a absorção sonora e, portanto, esse coeficiente é uma medida de eficiência no qual a superfície ou o material absorvem o som que incide. Logo, se 50% da energia é absorvida em determinada frequência, seu coeficiente de absorção sonora será de 0,5 (α) para a mesma frequência.

No caso de um absorvedor perfeito, onde muitos autores fazem uma comparação com uma janela aberta na qual todas as ondas são absorvidas, sua eficiência seria de 100% e, logo seu coeficiente de absorção sonora (α) seria de 1,0. Por outro lado, se a superfície fosse completamente reflexiva, seu coeficiente (α) seria 0,0. As frequências mais comuns em cálculo de tempo reverberação de um recinto são de 125; 250; 500; 1.000; 2.000 e 4.000Hz. Os materiais podem ser classificados, então, como absorvedores caso seu coeficiente de absorção seja superior a 0,5 e são considerados refletores aqueles que possuem um coeficiente abaixo de 0,2 (KUTTRUF, 2009).

De acordo com Bistafa (2006), um absorvente de som com qualidade satisfatória seria o material que “respira”, ou seja, aquele que permite às moléculas de ar penetrar e movimentar-se em seu interior. Dessa forma, a propriedade essencial desses materiais é a resistência ao fluxo de ar, pois o aumento da absorção sonora pressupõe uma resistência ótima no movimento do ar através do material (Figura 14(a) e (b)).

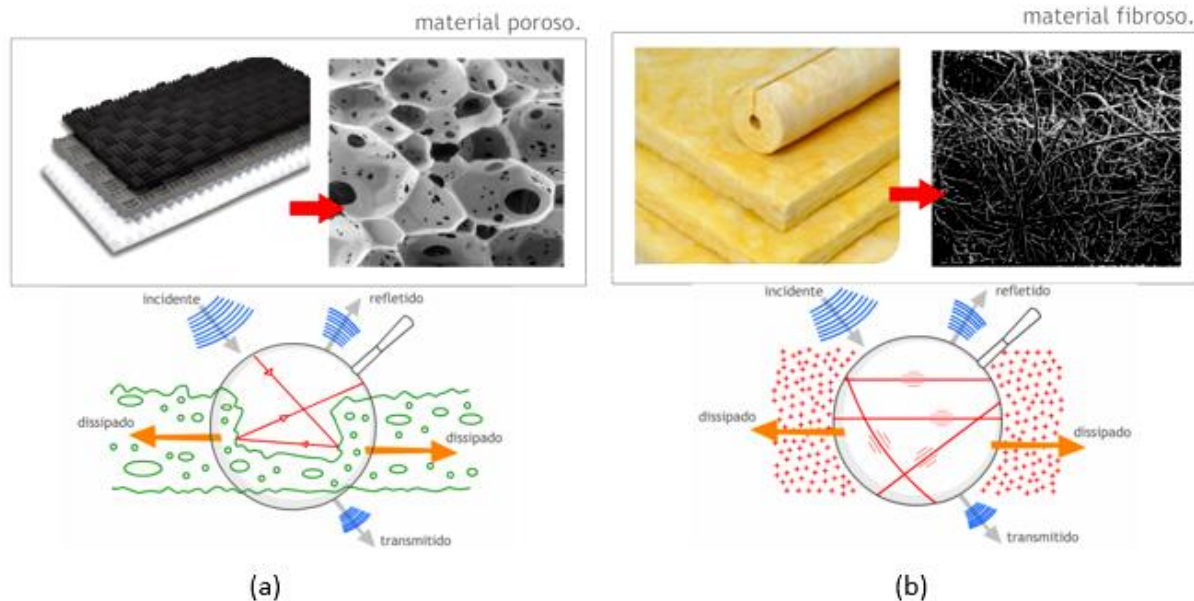


Figura 14: Mecanismos de dissipação da energia sonora nos materiais
 (a) material poroso; (b) material fibroso;
 Fonte: PORTELA, 2018.

A avaliação da eficácia de um tratamento acústico empregando materiais porosos e fibrosos é geralmente realizada com base nos coeficientes de absorção sonora. Esses coeficientes podem ser obtidos através de métodos analíticos, numéricos ou experimentais, e representam a fração de energia acústica absorvida pelo sistema em relação à energia acústica incidente. Eles são expressos em uma escala de 0 a 1, e quando multiplicados por 100, fornecem a porcentagem de absorção sonora do material em uma determinada frequência. A medição direta do coeficiente de absorção sonora pode ser feita em uma câmara reverberante, ou pode ser calculada utilizando um tubo de impedância (BISTAFA, 2006).

Gerges (2000) classifica como absorvedores de altas frequências os materiais porosos ou fibrosos, por exemplo as lãs minerais, fibras e outros mais, os quais são mecanismos resistivos; os absorvedores de médias frequências são classificados como ressonadores e são fundamentados em um princípio reativo no qual a energia

do ruído interage com a ressonância do dispositivo; e as membranas ressonantes atuam como absorvedores de baixas frequências funcionando de forma reativa e buscam atenuar a onda sonora incidente por meio da vibração mecânica e amortecimento interno do sistema.

Utilizando a câmara reverberante, pode-se medir o coeficiente de absorção sonora para incidência aleatória, que considera ondas sonoras incidindo de todas as direções. No tubo de impedância, considera-se a propagação somente de ondas planas, sendo então a impedância normal de superfície e o coeficiente de absorção normal calculadas com pequenas amostras do material absorvedor.

Existem diretrizes que estabelecem métodos e equações para calcular a absorção sonora de materiais. A norma ISO 345:2003 fornece as equações e procedimentos para determinar o coeficiente de absorção sonora usando uma câmara reverberante. Nesse método, um microfone omnidirecional é utilizado para medir a pressão sonora em todas as direções. No caso dos testes com o tubo de impedância, existem as normas ISO 10534-1:1996 e ASTM C354:2003, que calculam o coeficiente de absorção a partir da medição da pressão sonora em um microfone. As normas ASTM E1050:2019 e ISO 10534-2:1998 determinam o coeficiente de absorção por meio da função de transferência entre dois microfones.

Neste estudo, foi utilizada a técnica especificada na norma ISO 10534-2:1998 e o tubo de impedância. A escolha dessa técnica foi baseada na disponibilidade de um software compatível com a norma ISO, bem como nos equipamentos disponíveis no Laboratório de Acústica e Vibrações da Faculdade Gama da Universidade de Brasília. Além disso, essa técnica ofereceu praticidade na confecção de pequenas amostras do material a ser analisado.

3.4 ISO 10534-2:1998

A medição da capacidade de um material de absorver som pode ser determinada através dos coeficientes de absorção sonora, que são fornecidos em uma faixa de frequência. Uma das normas utilizadas para calcular o coeficiente de absorção sonora é a ISO 10534-2:1998, que utiliza a função de transferência entre dois microfones.

Para calcular o coeficiente de absorção sonora, uma fonte sonora é posicionada em uma das extremidades de um tubo de impedância. Essa fonte gera ondas planas no interior do tubo de impedância, onde parte das ondas é dissipada pelo material colocado na extremidade do tubo, enquanto outra parte é refletida. A pressão sonora dentro do tubo é captada por dois microfones, que convertem a pressão sonora em sinal elétrico e o enviam para um sistema de aquisição de dados.

De acordo com a ISO, o cálculo do coeficiente de absorção sonora é realizado conforme a equação:

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo o r o fator de reflexão do som.

$$r = \frac{H_{12} - H_1}{H_R - H_{12}} e^{2jkx_1} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que H_{12} é a função de transferência entre os microfones 1 e 2, calculada pelo sinal obtido pelos microfones na posição 1 e 2, H_1 e H_R é a função de transferência entre as ondas incidentes e refletidas, respectivamente.

$$H_1 = e^{-jk(x_1-x_2)} = e^{-jks} \quad (\text{Equação 5})$$

$$H_R = e^{jk(x_1-x_2)} = e^{jks} \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo s a distância entre os microfones (m) e, x_1 é a distância entre a amostra e o microfone da posição 1 e x_2 a distância entre a amostra e o microfone localizado na posição 2.

A função de transferência H_{12} é calculada pela razão entre as pressões sonoras complexas captadas pelos microfones nas posições 1 e 2.

4. METODOLOGIA

Para a realização dos ensaios, foi realizado o processo de extração da bucha vegetal para a confecção das amostras. Em seguida, foram elaboradas três configurações diferentes para a criação das amostras, as quais foram posteriormente submetidas a ensaios utilizando o tubo de impedância sonora.

4.1 Extração da fibra

A bucha vegetal é uma trepadeira, em formato de bega, com aproximadamente 50 cm, semelhante a um pepino. O seu uso mais comum é durante o banho, como esfoliante natural e como auxiliar da circulação sanguínea. A fibra utilizada neste estudo foi extraída manualmente em um povoado de Dumba, localizado no município de Bonfim – Minas Gerais (Figura 15 (a) e (b)).



(a)

(b)

Figura 15: (a) Plantação da bucha vegetal; (b) Local de retirada;.

Essa extração foi realizada pela produtora Branca, proprietária da empresa Bonfim Buchas, descascadas, secas e em seguida, passadas por um cilindro e enviado via correios para o Distrito Federal, para que esse estudo pudesse ser realizado. A Figura 16 apresenta as buchas no seu estado natural após extração:



Figura 16: Bucha vegetal em seu estado natural.

As buchas utilizadas nesse estudo foram cortadas todas no mesmo formato para que elas se encaixassem suavemente nas paredes do tubo sem que houvesse deformação. O formato do corte foi circular e medidos com paquímetro (Figura 17).

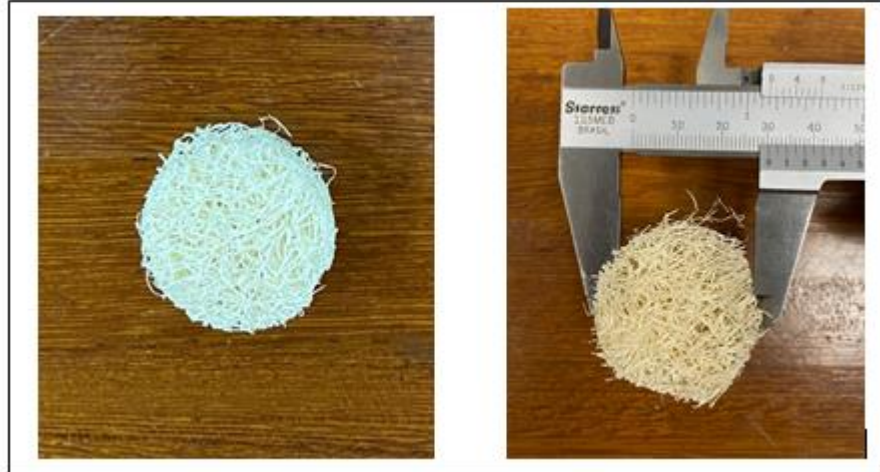


Figura 17: Bucha vegetal em seu estado natural após cortes circulares.

Com base na análise bibliográfica realizada neste estudo, foi constatado que muitos dos estudos que empregaram fibras naturais para o desenvolvimento de materiais ou a avaliação de seu potencial acústico não efetuaram o tratamento químico das fibras. Nesse sentido, este estudo adotou a mesma abordagem de não realizar o tratamento químico das fibras.

4.2 FABRICAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para a confecção das amostras foram determinadas 3 configurações distintas. Na primeira confecção, letra A, as amostras foram feitas com a bucha em seu estado natural. Para segunda confecção, letra B, as amostras foram feitas com a bucha tingida para efeito estético utilizando tinta de tecido. E para terceira confecção, letra C, as amostras foram feitas utilizando as amostras da primeira configuração em formato de painéis sanduíches utilizando gesso acartonado com o intuito de melhorar acusticamente as amostras da bucha vegetal em seu estado natural.

4.2.1 AMOSTRA A

Para a confecção 1, foram construídas 2 amostras (A1) em seu estado natural e sem adição de ligantes. Para a confecção dessas amostras adotou os fatores principais: espessura e densidade das amostras.

Primeiramente, aferiu-se as massas para que pudesse ser calculado a densidade e em seguida, foi realizado os cortes com tesoura de 2 amostras (A1) com diâmetro de 30 mm, considerando que esses são os tamanhos do porta amostra do tubo de impedância (Figura 18). A identificação dessa amostra se dará pela letra A.

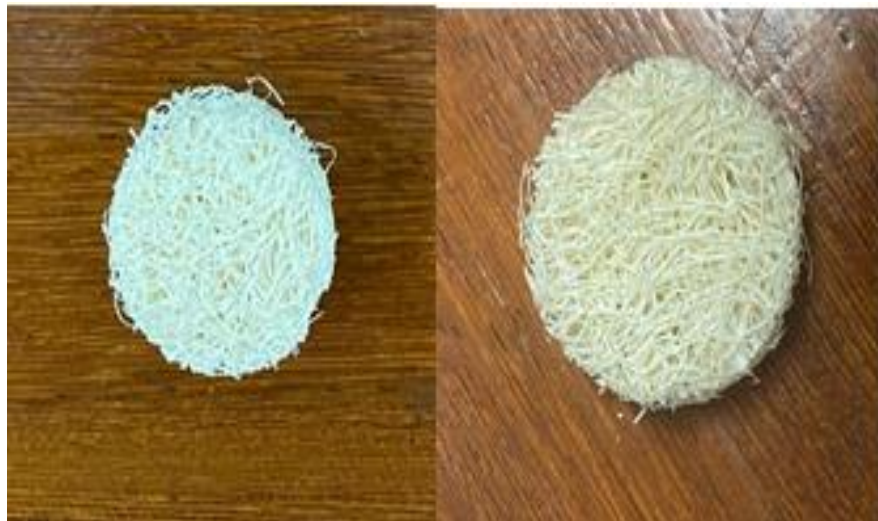


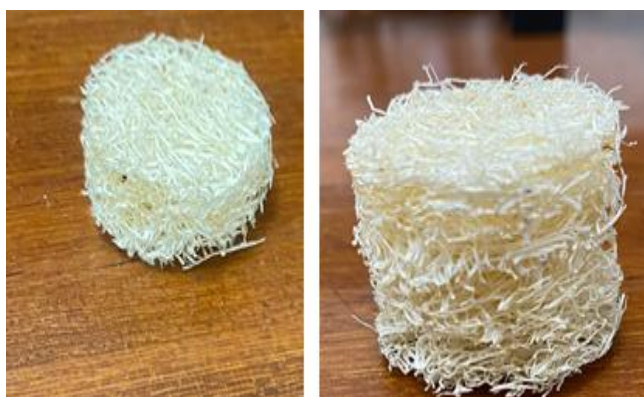
Figura 18: Bucha vegetal em seu estado natural após cortes circulares (30 mm).

Para o cálculo de densidade da amostra A, utilizou-se o valor de $0,82 \text{ g/cm}^3$, de acordo com o estudo realizado por (Satyanarayana et al. 2007). A tabela a seguir apresenta os dados da amostra A.

Tabela 1 - Dados da amostra A

A1 – Diâmetro 30 mm		
Espessura da amostra (mm)	Massa (g)	Volume (mm^3)
8 mm	0,3	0,365
16 mm	0,6	0,731

A bucha vegetal não apresenta uma estrutura homogênea. Ou seja, os valores de diâmetro e espessura variam em todo comprimento da bucha. Sendo assim, para obter a espessura de 16mm, foi feito um painel sanduíche com duas camadas de bucha, não foi adicionado ligante ou componente químico, apenas utilizando as duas amostras de 8mm de espessura para o diâmetro de 30mm (Figura 19).



(a)

(b)

Figura 19: Bucha no estado natural (a) 8mm de espessura; (b) 16mm de espessura.

4.2.2 AMOSTRA B

Na confecção da amostra 02, as amostras ainda em seu estado natural foram mergulhadas na água por 3 dias durante 30 minutos afim de que as fibras ficassem macias para que pudesse facilitar a penetração da tinta ao passar pelo tingimento (Figura 20(a) e (b)). As tintas utilizadas para pintar as buchas neste estudo foram tintas de tecido. Para o tingimento, foi colocada a tinta dentro de 1L de água e aguardou 15 minutos até que tinta atingisse toda a estrutura da bucha vegetal, em seguida, foi colocada para secar, em temperatura ambiente 21°C. Após o tingimento, as amostras foram cortadas utilizando os mesmos diâmetros e espessuras para os cortes da configuração 01 (2 amostras para 30mm) (Figura 21(a) e (b)). O intuito da confecção dessas amostras tingidas foi para contribuir na arquitetura dos espaços em que elas poderão ser aplicadas como isoladores acústicos e verificar se ao passar pelo tingimento há melhora no coeficiente de absorção sonora. Essas são as amostras B.

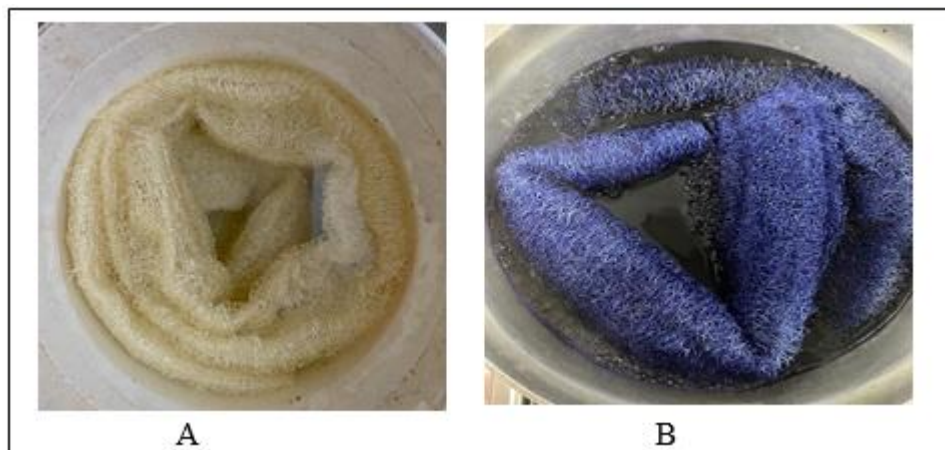


Figura 20: (a) Bucha vegetal mergulhada na água;
(b) bucha vegetal sendo tingida;.

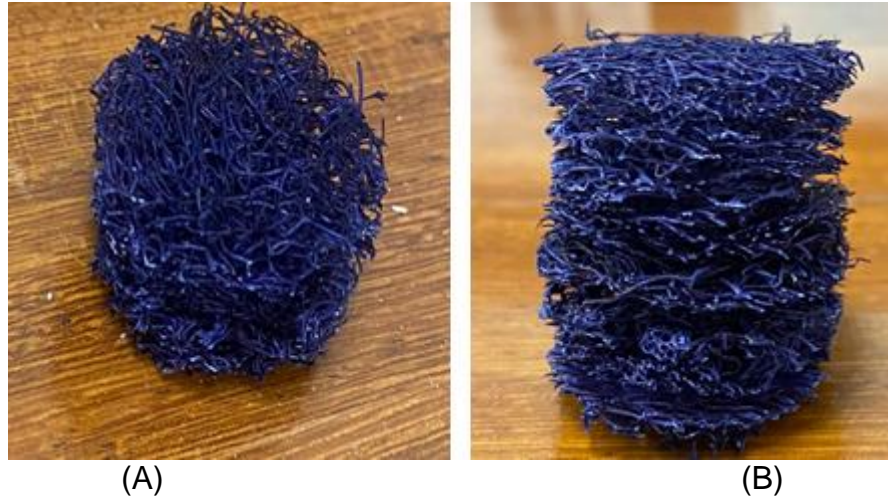


Figura 21: Bucha tingida (a) 8 mm de espessura; (b) 16 mm de espessura;.

A tabela a seguir apresenta os dados da amostra B:

Tabela 2 - Dados da amostra B

B1 – Diâmetro 30 mm		
Espessura da amostra (mm)	Massa (g)	Densidade (g/m ³)
8 mm	0,3	3E-06
16 mm	0,6	6E-06

4.2.3 AMOSTRA C

Por fim, apresentando mais uma aplicabilidade para as amostras das fibras confeccionadas na configuração 01, nesta configuração 3 fabricou-se amostras no formato de painéis sanduíches com a parte interna de gesso acartonado para melhorar acusticamente as amostras da confecção 01. O desenvolvimento desta configuração tem como finalidade a simulação de uma estrutura pré-moldada que poderá ser instalada em edificações e também, considerando que a bucha vegetal é um material inflamável e a composição da placa de gesso que tem a água como 20% do seu peso, tornando o gesso um material ideal para locais que exigem alta

resistência ao fogo. Por esse motivo, as amostras C foram confeccionadas da seguinte forma, como mostra a figura 22:

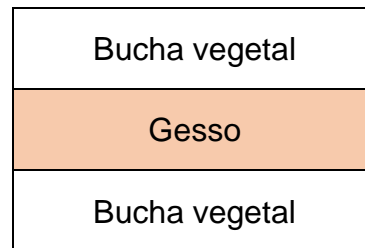


Figura 22: Formato das amostras C.

O gesso foi colocado em molde cilindro de 30mm de diâmetro e 9mm de espessura, esperou-se 4 horas para a secagem. Para a confecção dos painéis sanduíches, a espessura de cada amostra da bucha foi de 8mm (Figura 23). Para a composição das amostras seria ideal a utilização das espessuras dos painéis de gesso encontrados no mercado, equivalente a 0,0125 m, porém, devido a limitação máxima de 0,0250 m de espessura cabível no porta-amostra do tubo de impedância utilizado nos experimentos. Para a confecção dos painéis de gesso utilizou-se o fator água/gesso de 0,8, valor indicado pelo fabricante CF Gesso Fácil.



Figura 23: Amostra C.

Para o ensaio experimental no tubo de impedância, inicialmente foi colocado uma amostra da bucha, em seguida o gesso e para finalizar, outra amostra da bucha, ficando o gesso na parte interna do painel sanduíche (Figura 24 (a), (b) e (c)).

Não foi adicionado nenhum ligante ou cola para que pudesse grudar as amostras da bucha vegetal no gesso.

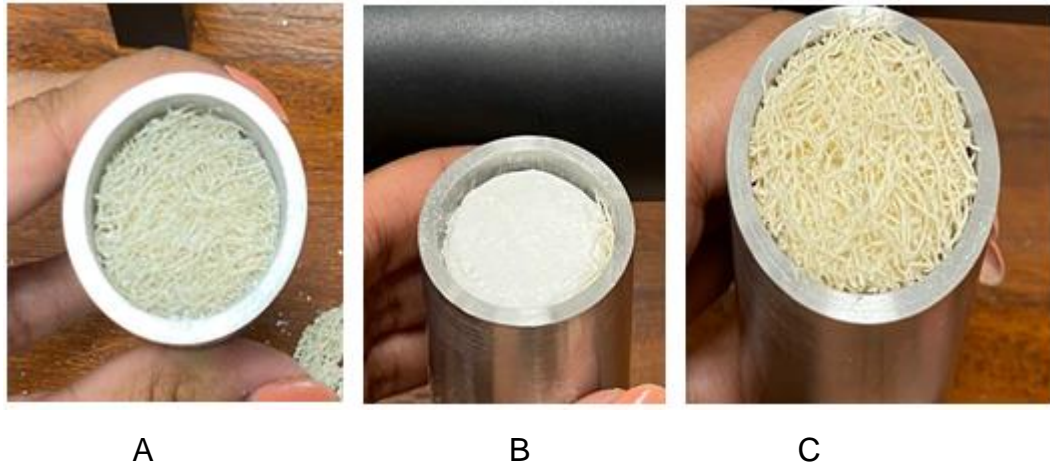


Figura 24 – Painel sanduíche (a) bucha no estado natural; (b) bucha no estado natural + camada de gesso; (c) bucha no estado natural + camada de gesso + bucha no estado natural;

Todo procedimento de fabricação de amostras foi realizado de forma artesanal, ou seja, com exceção da balança de precisão e paquímetro, não se utilizou equipamentos de laboratório para fabricação. Tratamentos químicos não foram feitos com as amostras, porque o intuito do estudo é melhorar o desempenho acústico da bucha vegetal no seu estado natural.

4.3 ENSAIO EXPERIMENTAL NO TUBO DE IMPEDÂNCIA

Realizou-se o ensaio experimental para determinar o coeficiente de absorção sonora das amostras desenvolvidas. Os ensaios foram conduzidos utilizando quatro tubos de impedância modelo BSWA, sendo que um dos tubos foi equipado com um alto-falante acoplado à sua estrutura. Para a realização dos ensaios, foram utilizados um amplificador PA50, uma placa de aquisição MC3242 e quatro microfones, responsáveis por captar a pressão sonora. Além disso, um computador com o software VA-Lab4 licenciado pela instituição de ensino foi utilizado, o qual emprega a norma ISO 10534:1998 para a realização dos cálculos necessários. A Figura 25 ilustra o esquema de montagem dos equipamentos utilizados.

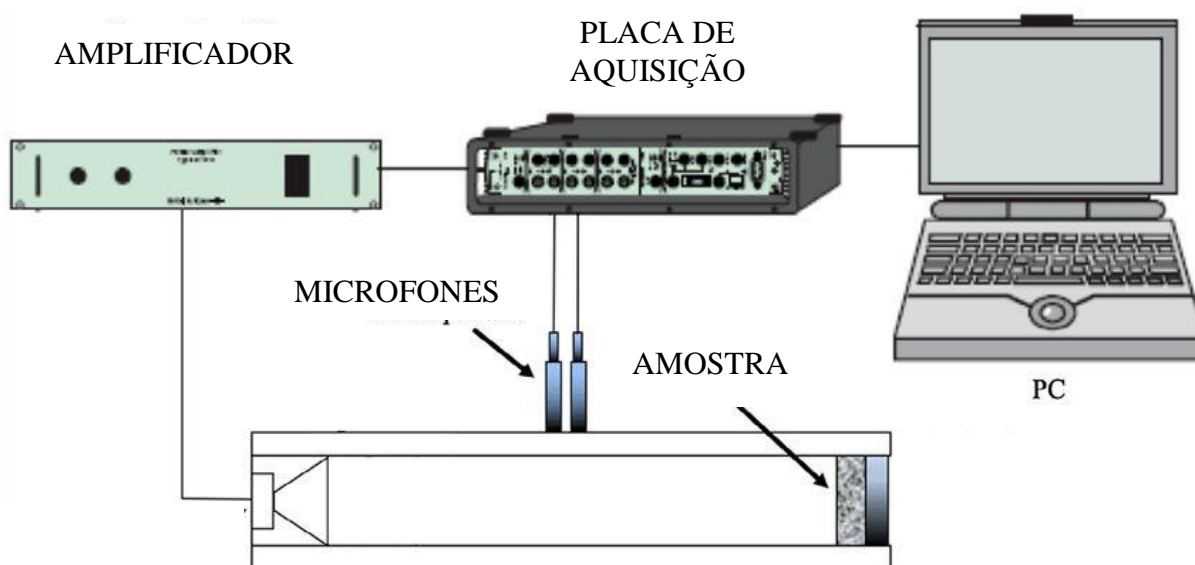


Figura 25: Equipamentos utilizados nos ensaios experimentais.

4.4 CALIBRAÇÃO DOS MICROFONES

O primeiro passo para realizar os experimentos consiste na calibração dos microfones (Figura 26). Esse procedimento tem como objetivo verificar a sensibilidade de cada microfone. Como apenas dois microfones são utilizados para obter o coeficiente de absorção, ambos foram calibrados antes de iniciar os experimentos. A calibração foi feita utilizando a placa de aquisição e um calibrador CA115, que emite um tom puro de 1000 Hz. A amplitude do sinal, de acordo com as

especificações do fabricante do calibrador, é de 114 dB e é representada pelo valor quadrático médio, RMS (root medium square).



Figura 66: Calibração dos microfones.

4.4.1 RÚIDO DE FUNDO

Sabe-se que ruídos provenientes de fontes externas ao tubo de impedância podem interferir nos resultados finais, foi realizado um estudo do ruído de fundo nos dias em que os experimentos foram conduzidos, com os equipamentos montados. O procedimento foi executado da seguinte maneira: com o amplificador desligado, o programa foi configurado para selecionar dois canais e o filtro foi ajustado para o modo linear. Além disso, o detector foi configurado para o modo "slow" (ponderação temporal lenta), que tem a função de reduzir as flutuações do ruído, tornando-as mais visíveis. Após 60 segundos de monitoramento do ruído, foi registrado o nível máximo de pressão sonora. A Figura 27 mostra as configurações adotadas no software durante o procedimento.

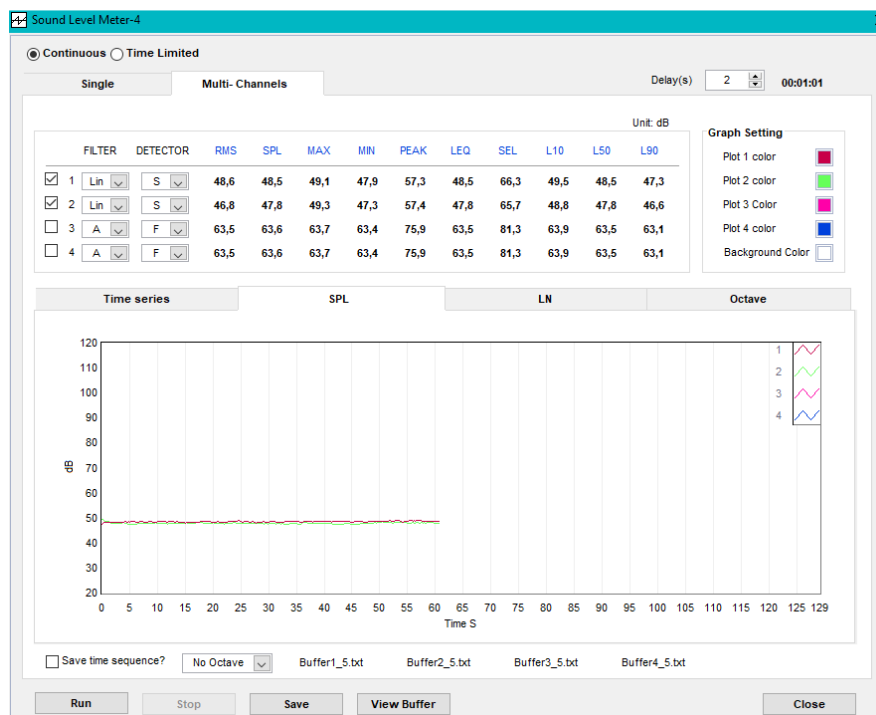


Figura 27: Verificação do ruído de fundo.

4.4.2 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA

O coeficiente de absorção sonora foi determinado utilizando dois tubos de diâmetros internos de 30mm, em que uma fonte sonora foi acoplada ao tubo de 60mm (para esta análise acoplou-se o tubo de 30 mm no tubo de 60 mm, pois o tubo de 30 mm não possui uma fonte sonora), dois microfones, amplificador, placa de aquisição e um computador onde foi instalado a software VALab4 (Figura 28).



Figura 28: Bancada experimental utilizada para realizar os ensaios no Laboratório de Acústica e Vibração – Faculdade Gama.

Utilizou o tubo de 30 mm para as medições das amostras. Antes de iniciar a medição selecionou-se o tubo desejado, onde foi considerado os valores padrões para pressão atmosférica de 101325 Pa, temperatura 20°C e umidade relativa do ar 50% (Figura 29).

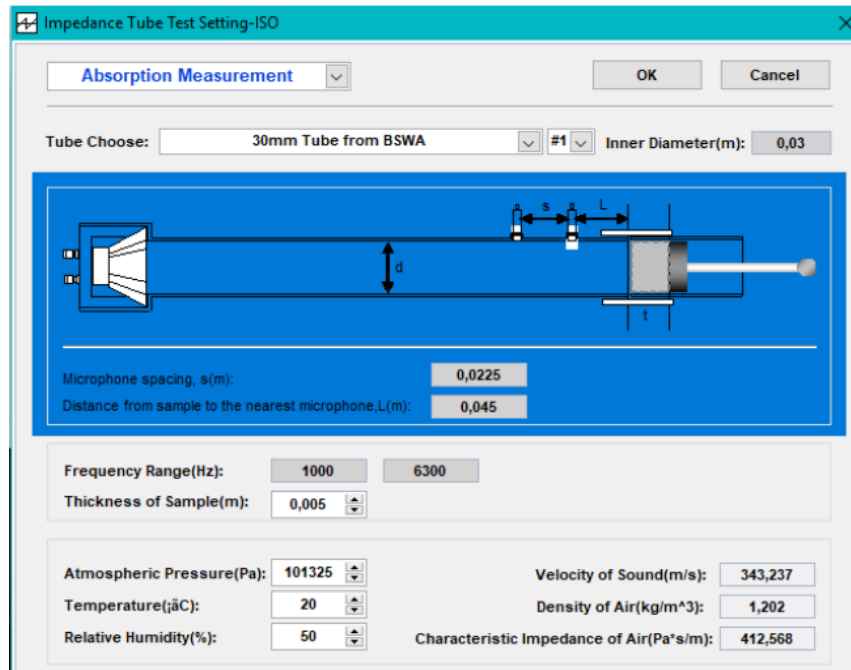


Figura 29: Configuração do software VA-Lab4.

Após configurar o programa, a amostra foi colocada no suporte apropriado e em seguida acoplada ao tubo de impedância. Verificou-se se o microfone no canal 1 da placa de aquisição estava posicionado na posição 3 do tubo, enquanto o microfone do canal 2 estava na posição 4 do tubo (conforme ilustrado na Figura 30). Em seguida, deu-se início à medição.

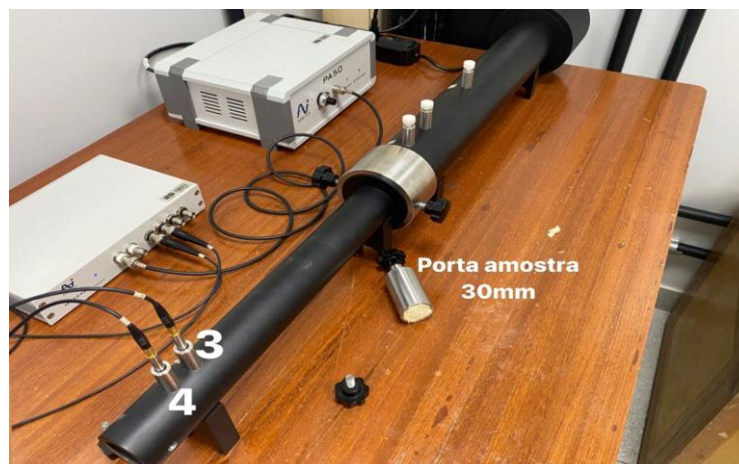


Figura 30: Bancada experimental.

Após posicionar corretamente os microfones, deu-se início às medições. Cada medição teve a duração de 60 segundos, sendo que em seguida os microfones foram trocados de posição: o microfone do canal 2 passou a ocupar a posição 4, enquanto o microfone do canal 1 foi colocado na posição 3. Para obter o resultado final de cada amostra, foi calculada a média de três medições, utilizando o software para esse propósito. Essa configuração de posicionamento dos microfones gerou resultados dentro da faixa de frequência de 1000 a 6300 Hz. Segundo a recomendação do fabricante do tubo de impedância, as pressões sonoras captadas pelos microfones devem estar entre 90 e 110 dB, e isso pode ser controlado por meio da manipulação do amplificador. Além disso, durante as medições, é necessário que a pressão sonora captada pelos microfones seja pelo menos 10 dB maior do que a pressão sonora do ruído de fundo.

Ao fim do experimento com o tubo de diâmetro interno de 30mm, exportou os resultados do *software* VA-Lab4 para o Excel. No Excel, gerou-se os gráficos das médias obtidas pelo *software*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a confecção das amostras, realizou-se os ensaios utilizando o tubo de impedância disponibilizado no Laboratório de Acústica e Vibração - Faculdade Gama – UnB, seguindo conforme a ISO 10.534:1998. O material em estudo trata-se de um material poroso, sendo comum para esses tipos de materiais apresentar bons valores de coeficiente de absorção sonora em médias ou altas frequências (1000Hz a 6300Hz). Dessa forma, todos os ensaios foram feitos utilizando o tubo de 30mm de diâmetro.

Iniciou-se então a metodologia experimental, primeiro foram ensaiadas as amostras utilizando a bucha vegetal em seu estado natural. Em seguida, com o intuito de avaliar o quanto a espessura pode interferir no valor do coeficiente de absorção sonora, confeccionou-se amostras em painéis sanduíches apenas utilizando a bucha vegetal para que fosse possível aumentar sua espessura, considerando que a bucha vegetal não possui uma estrutura homogênea em toda sua parte, com tamanhos variados de espessuras, comprimentos e diâmetros.

Os ensaios iniciaram com a amostra da bucha em seu estado natural com espessura de 8 mm e o segundo ensaio com a bucha no estado natural com espessura de 16 mm. Todas as amostras possuem o mesmo diâmetro de acordo com o tubo que estava sendo utilizado. Em seguida, com os resultados obtidos foi possível gerar o seguinte gráfico (Figura 31):

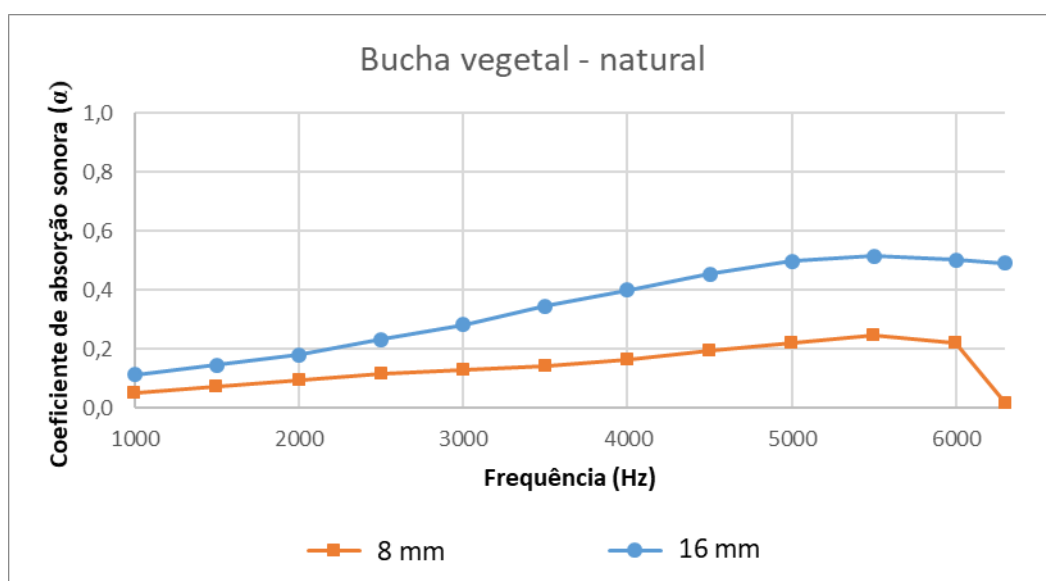


Figura 31: Coeficiente de absorção sonora – bucha em seu estado natural.

Verifica-se por meio da figura 31 que a amostra da bucha vegetal com espessura de 8 mm demonstrou coeficiente de absorção sonora baixo, atingindo 0,2 em 5500Hz. Quando aumentou a espessura para 16 mm o valor do coeficiente de absorção sonora melhorou significativamente em 5500Hz, aproximado de 0,6. Isso ocorre porque a espessura influencia diretamente no coeficiente de absorção sonora do material, pois quando se aumenta a espessura, ocorre um aumento significativo em suas propriedades absorvedoras, fazendo com que o material absorva uma gama de frequência mais ampla.

Em seguida, foi realizado o ensaio com as amostras tingidas. As amostras são de 30 mm de diâmetro, com as mesmas espessuras da amostra A (8mm e 16mm de espessura). Os resultados obtidos são apresentados a seguir (Figura 32):

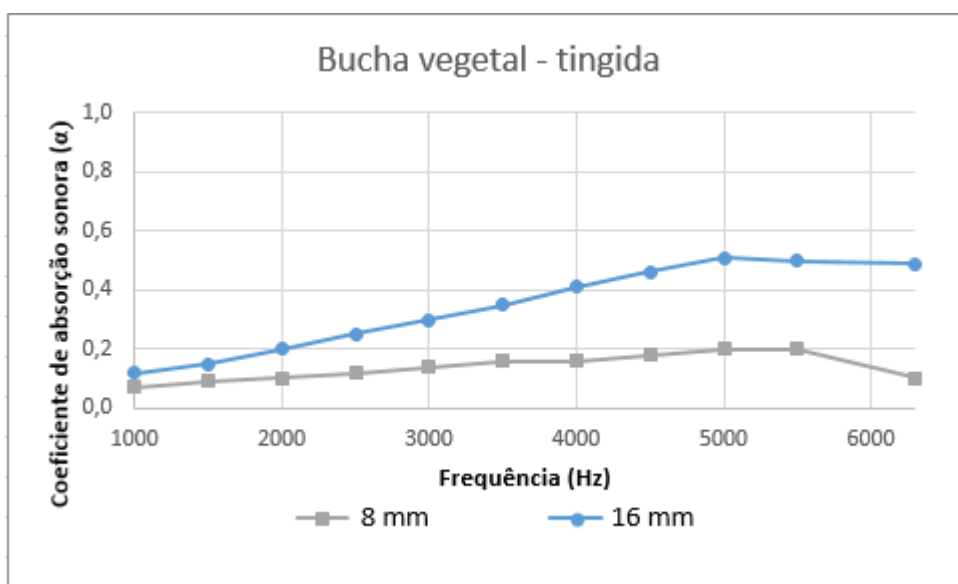


Figura 32: Coeficiente de absorção sonora – bucha tingida.

De acordo com a figura 32, ao tingir as amostras com o objetivo de agregar na estética dos ambientes e verificar se a aplicação de tinta influenciaria o coeficiente de absorção sonora, observa-se que as buchas tingidas com 8mm de espessura não apresenta bom desempenho acústico, atingindo 0,2 em 5000Hz. Quando aumenta a espessura, observou-se a melhora do coeficiente de absorção sonora em 5000Hz próximo de 0,6.

De acordo com a literatura, ao aplicarmos a tinta, observa-se que o comportamento do coeficiente de absorção sonora apresenta um pico de absorção em determinadas frequências, nesse caso o pico ocorreu em 5000Hz para 8mm e

16mm de espessura. Essas amostras foram colocadas de molho para facilitar o processo de tingimento e não foram feitos testes de tingimento sem colocar as amostras ao molho.

A seguir apresenta-se uma comparação entre os valores de coeficiente de absorção sonora entre a bucha ao natural e a bucha tingida, com espessura de 8mm (Figura 33).

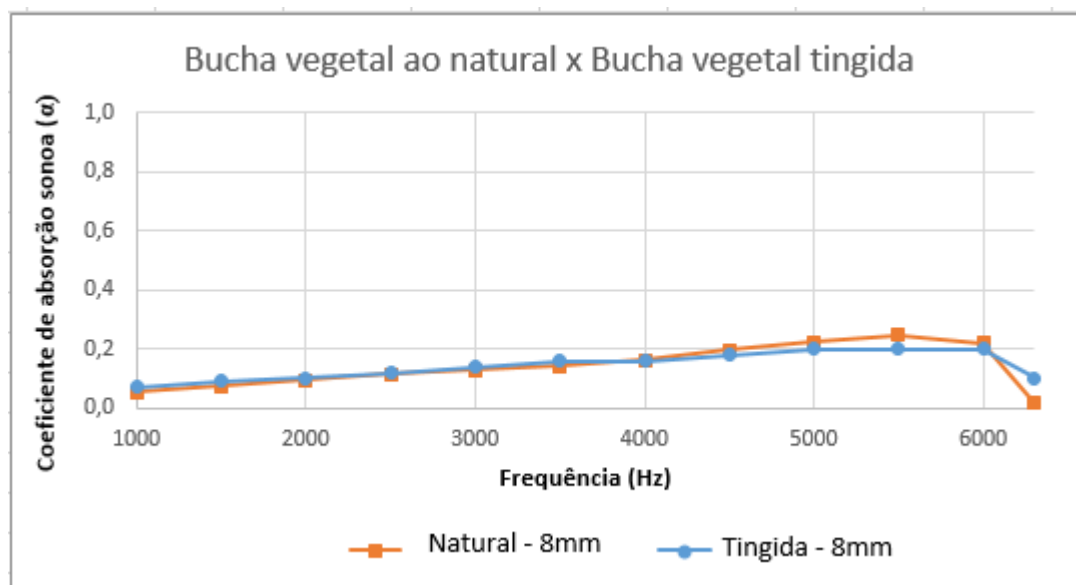


Figura 33: Coeficiente de absorção sonora – bucha nat. 8mm x bucha ting.8mm.

Observando a figura 33 e de acordo com a literatura, a aplicação da tinta é um fator que pode influenciar na capacidade dos materiais de absorver ondas sonoras, mas no caso da bucha vegetal nos ensaios realizados nesse estudo, com a mesma espessura da bucha ao natural, não foi observada essa influência. As duas amostras de 8mm de espessura apresentaram baixo potencial de absorção acústica, tendo um coeficiente de absorção sonora de 0,2 entre 5000Hz em seu estado natural e 5500Hz tingida.

Na sequência, apresenta-se os valores de coeficiente de absorção sonora fazendo uma comparação entre a bucha vegetal ao natural e a bucha vegetal tingida com 16 mm de espessura (Figura 34).

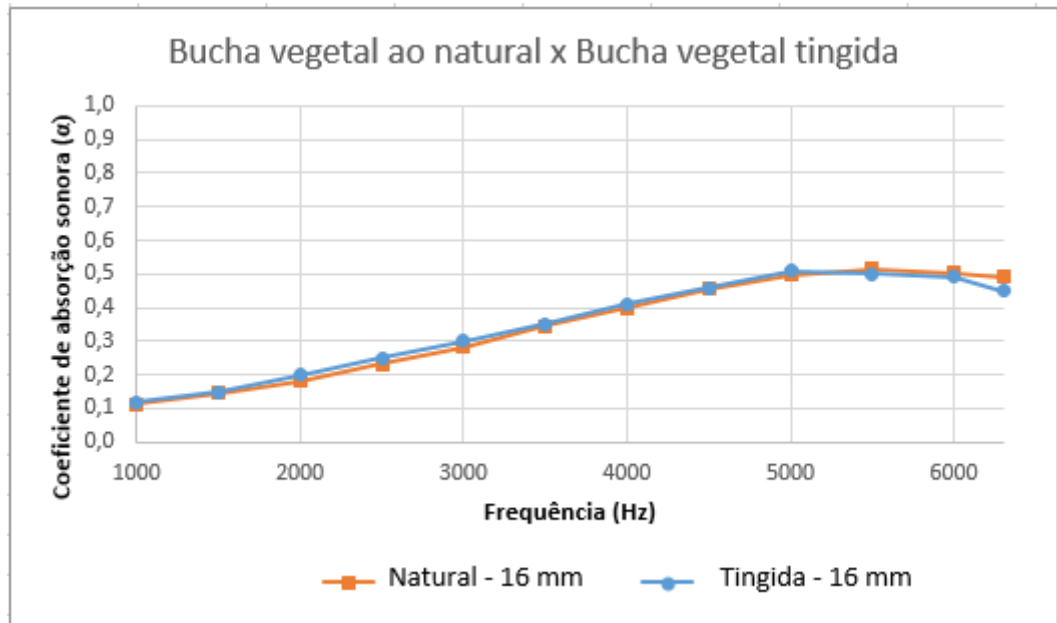


Figura 34: Coeficiente de absorção sonora – bucha natural 16mm; bucha tingida 16mm;.

Observa-se que as amostras da bucha ao natural e tingida em 5000Hz atingiu-se coeficiente de absorção sonora próximo a 0,6. A aplicação de tinta nas amostras de bucha vegetal não apresentou influencia no potencial acústico comparado com a espessura, porém, é uma forma de agregar na estética dos ambientes, pois os resultados são significantes em médias e altas frequências. O designer Mauricio Affonso (2014) criou um revestimento (Figura 35) utilizando a bucha vegetal com aplicação de tinta que é descartada em fábricas de jeans. As amostras foram colocadas ao molho até que ficassem maleáveis para que fosse possível ser moldadas.



Figura 35: Revestimento com bucha vegetal
Fonte: (AFFONSO, 2014).

Afim de verificar se as amostras desenvolvidas nesse estudo apresentaram potencial para absorção acústica, foram comparados os resultados com aqueles obtidos por Genc et al., 2015 que utilizou o mesmo método experimental para medição do coeficiente de absorção de buchas vegetais. Neste estudo, os autores investigaram o coeficiente de absorção sonora da bucha vegetal ao natural e utilizando materiais compósitos. A seguir, apresenta-se os valores de coeficiente de absorção sonora com a bucha ao natural, com espessura de 12mm (Figura 36).

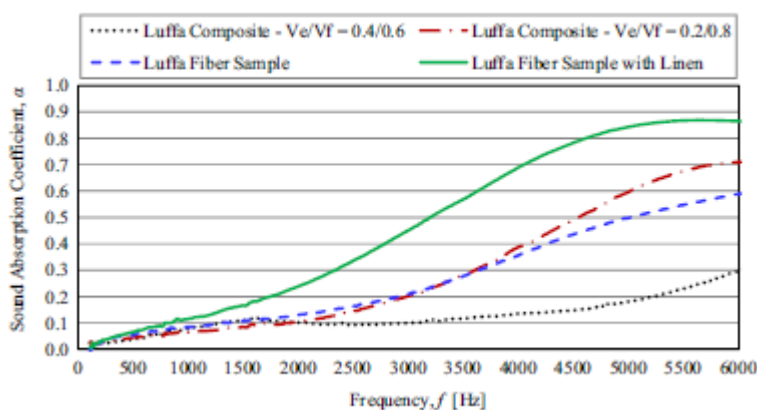


Figura 36: Coeficiente de absorção sonora
Fonte: (GENC et al., 2015).

Semelhante ao obtido no presente trabalho, o máximo coeficiente de absorção sonora encontrado pelos autores foi de 0,6 na faixa de 6000Hz, o que indica a validade dos resultados encontrados experimentalmente nesse estudo.

Ainda em busca de comparar os presentes resultados com a literatura, Santos et al., 2005 em seus estudos utilizando a câmara reverberante para verificar o coeficiente de absorção sonora, concluiu que apresentou bons resultados técnicos acústicos nas médias e altas frequências (Figura 37). O coeficiente de absorção sonora neste trabalho nas amostras ao natural e a que passaram pelo tingimento apresentou valores de 0,4 em 4000Hz com espessuras de 16mm.

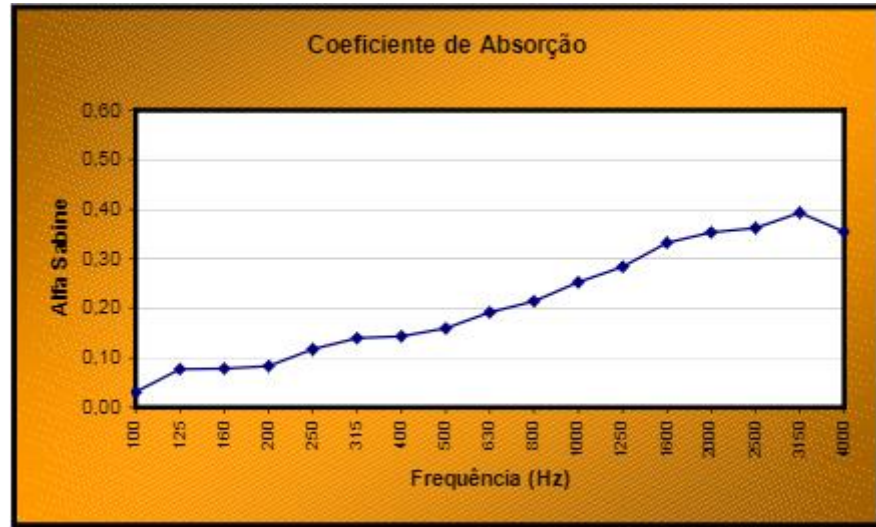


Figura 37: Gráfico dos coeficientes de absorção sonora
Fonte: (SANTOS *et. al.*, 2005).

Por fim, apresenta-se os resultados obtidos com os painéis utilizando o gesso na parte interna. A espessura das amostras foram de 25mm, sendo a primeira camada de bucha 8mm, segunda camada de gesso 9mm e terceira camada de bucha 8mm, e o diâmetro de 30mm. Foram utilizados as amostras da configuração 1 (bucha vegetal em seu estado natural) para fazer o painel sanduíche (Figura 38).

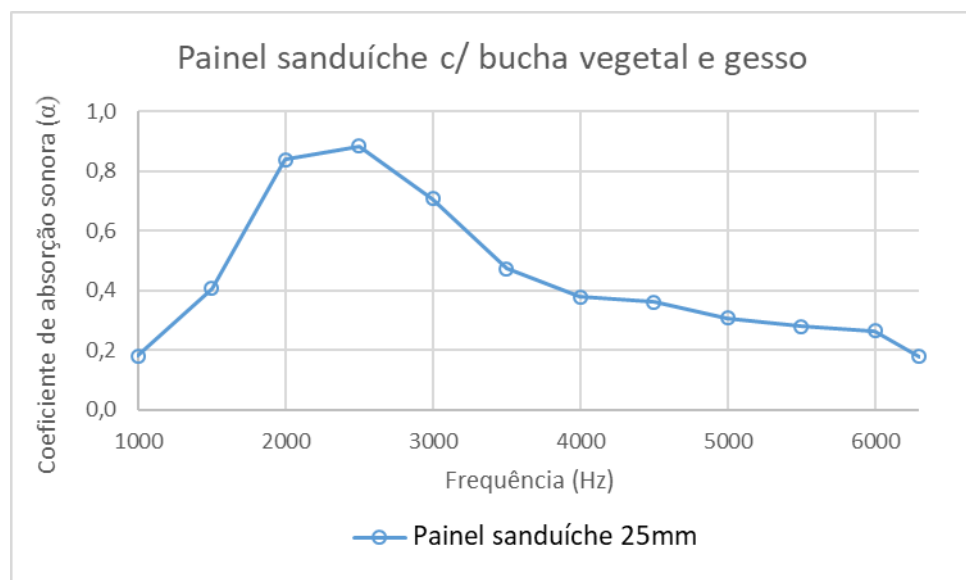


Figura 38: Coeficiente de absorção sonora – painel sanduíche.

No ensaio realizado com o gesso na parte interna do painel sanduíche, o coeficiente de absorção sonora apresentou valores satisfatórios nas faixas de frequência entre 1500Hz e 3500Hz, sendo de aproximadamente 0,9 em 2500Hz. Sendo que o coeficiente de absorção sonora começa a decair nas amostras da bucha ao natural e tingida em 6000Hz e nas faixas de frequência de entre 1000Hz e 3000Hz apresenta-se baixo desempenho. Acontece que o gesso apresenta bom desempenho em baixas frequências, como pode ser observado no estudo do Cunha (2012), o qual realizou um ensaio apenas com o gesso e os resultados de coeficiente de absorção sonora foram superiores quando a frequência estava acima de 1200Hz. Afim de verificar o potencial acústico da amostra de gesso de 9mm de espessura e 30mm de diâmetro utilizado entre as duas amostras de bucha vegetal, submeteu-se ao ensaio utilizando o tubo de impedância (Figura 39).

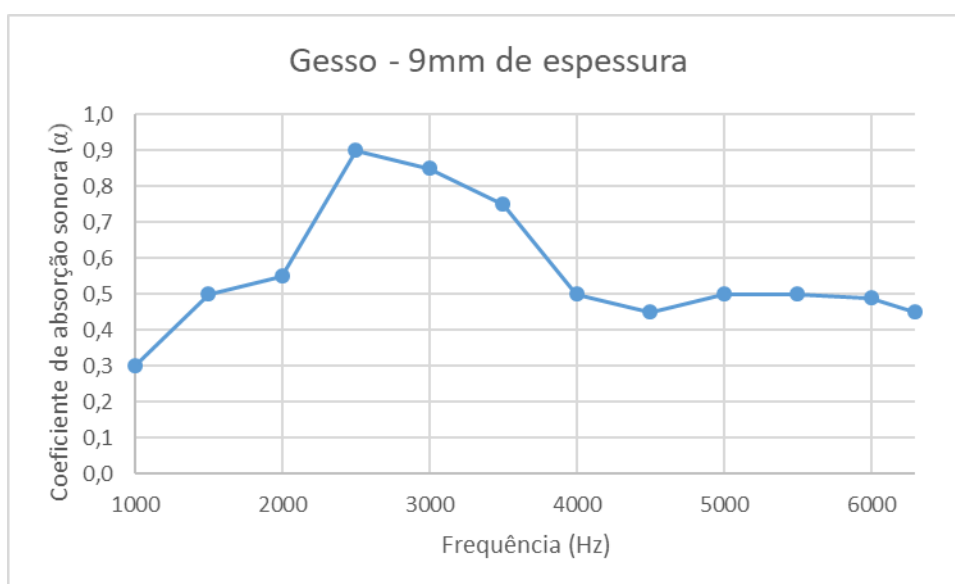


Figura 39: Coeficiente de absorção sonora – gesso.

Semelhante ao que ocorre na amostra C em 2500Hz, o coeficiente de absorção sonora da amostra de gesso e do painel sanduíche aproximou-se de 0,9. O gesso é muito usual como isolamento acústico e apresenta bons resultados de coeficiente de absorção sonora quando associado a outro material absorvedor, como é o caso da bucha vegetal.

Os resultados apresentados nesse estudo foram confirmados com a literatura. A bucha vegetal em seu estado natural pode ser utilizada como material acústico de uso sustentável em médias ou altas frequências. A espessura é fator determinante

na fabricação das amostras, mas utilizar as amostras pintadas podem agregar na arquitetura e estética dos ambientes. De acordo com a literatura e com os resultados apresentados, para obter um melhor coeficiente de absorção utilizando a bucha vegetal no seu estado natural, sem adição de ligante ou tratamento químico, tornando um material acústico de uso sustentável e com baixo teor de inflamabilidade pode-se associá-lo ao gesso.

Na sequência, apresenta-se os valores de coeficiente de absorção sonora fazendo uma comparação entre o painel sanduíche com bucha vegetal e gesso de 25mm de espessura, e a amostra de gesso com 9 mm de espessura (Figura 40).

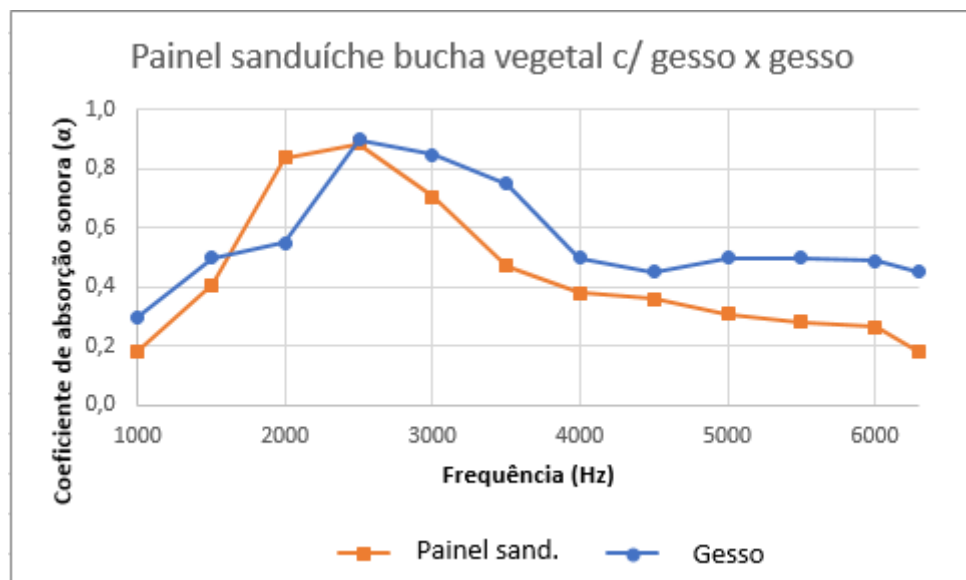


Figura 40: Coeficiente de absorção sonora – painel sanduíche x gesso.

Observa-se que o gesso apresenta valores de coeficiente de absorção sonora superior quando comparado com o painel sanduíche, porém, associar o gesso na fabricação das amostras C percebe-se um aumento significativo do coeficiente de absorção sonora dessas amostras entre 1500Hz e 3500Hz, aproximando-se de 0,9 em 2500Hz.

6. CONCLUSÕES

A revisão bibliográfica nesse estudo foi muito importante para propor medidas de solucionar o ruído proveniente dos parques eólicos após sua instalação, ou seja, mitigando o ruído diretamente nas edificações. Com o aumento dos parques eólicos, observou-se que as regiões habitadas próximo aos parques sofrem com o ruído gerado pelas pás dos aerogeradores. Nesse contexto, seria importante entender a maneira como um material tão abundante na natureza pode apresentar um potencial de absorção acústica, podendo ser utilizado como material acústico de uso sustentável, servindo como possibilidade para mitigar o problema de ruído nas residências próximas aos aerogeradores.

Os resultados demonstraram que houve um aumento do coeficiente de absorção sonora das amostras da bucha vegetal em seu estado natural, quando testadas no tubo de impedância de acordo com a ISO 10534:1998, nas faixas de frequência entre 4000Hz a 5500Hz. Esse aumento ocorreu devido ao aumento da espessura das amostras. De acordo com a literatura, a espessura é fator que influencia na capacidade acústica dos materiais de absorver ondas sonoras pois com o aumento da espessura, ocorre o aumento das propriedades absorvedoras, de modo que o material passa a absorver uma gama de frequência mais ampla.

Concluiu-se também que a bucha vegetal em seu estado natural com 8mm de espessura apresenta baixo desempenho nas frequências entre 1000Hz e 3000Hz. Mas quando se aumenta a espessura da amostra da bucha vegetal em seu estado natural para 16mm de espessura, os valores de coeficiente de absorção sonora são melhores entre 4000Hz a 5500Hz, aproximando-se de 0,6 em 5000Hz. De acordo com a literatura, materiais porosos ou fibrosos são melhores absorvedores em médias ou altas frequências (1000Hz a 6000Hz).

Quando submetida ao processo de tingimento e em seguida testadas, as amostras B não apresentaram valores de coeficiente de absorção sonora superior das amostras em estado natural. A aplicação de tinta também é um fator relevante para determinar os coeficientes de absorção sonora, pois de acordo com a literatura, após a aplicação de tinta, o absorvedor comporta de forma que apresenta picos de absorção em determinadas frequências. No caso das amostras tingidas, observa-se que em 5000Hz ocorreu um pico nas amostras de 8mm e 16mm, porém quando

comparadas com as amostras em estado natural, os resultados são próximos e os valores de coeficiente de absorção sonora nessa mesma frequência é aproximado a 0,6. Conclui-se que a aplicação de tinta nas amostras desse estudo não apresentou influência para que houvesse aumento do coeficiente de absorção sonora, porém pode ser utilizada como absorvedores acústicos em médias ou altas frequências para agregar acusticamente e esteticamente os ambientes.

O painel sanduiche com gesso na parte interna, sem adição de ligante, apresentou o melhor resultado entre 1500Hz a 3500Hz, sendo o valor de coeficiente de absorção sonora superior em 2500Hz, quando aproxima-se de 0,9. Como foi visto na literatura, o gesso apresenta valores superiores em frequências acima de 1110Hz, o que pode ter melhorado o resultado da bucha no seu estado natural quando associada ao gesso.

Em concordância com a literatura, o coeficiente de absorção sonora da bucha vegetal apresentou-se melhores resultados em médias e altas frequências. Sendo assim, não foram realizados experimentos utilizando o tubo de 60mm, pois trata-se de baixas frequências 100Hz a 800Hz, e como já foi mostrado com o tubo de 30mm que o desempenho é baixo em 1000Hz.

Pode-se concluir após a análise dos resultados com relação ao uso do material para absorção de médias ou altas frequências, e quando associado ao gesso entre 1500Hz e 3500Hz, que a bucha vegetal é um bom absorvedor acústico. Por se tratar de um recurso natural, renovável e de fácil cultivo, pode-se promover o crescimento da cultura, a conquista de novos mercados e geração de renda. Além disso, vindo a criar uma nova alternativa de baixo custo para o conforto acústico de ambientes fechados, podendo associar com o gesso, motivando o investimento de pesquisas por profissionais e empresas para a implementação de sua utilização. Sendo alternativa de isolamento acústico nas alvenarias das residências próximas aos parques eólicos, quando não for mais possível tratar o ruído direto na fonte.

Para trabalhos futuros poderá ser feito estudos utilizando a bucha vegetal com adição de ligantes, tratamento químico e materiais compósitos, com o intuito de melhorar o potencial acústico do material.

ANEXO I: Referências Bibliográficas

- AFFONSO, M. Bucha vegetal a prova de som, 2014. Fonte: <https://casa.abril.com.br/construcao/bucha-vegetal-a-prova-de-som/>
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E354:2019. "Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room". 2003.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E1050:2019. "Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System", 2019.
- AZEVEDO, L. J.; NABUCO, M. Sound Absorption of Sisal Fiber Panels. Inter-noise 2005. The 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Rio de Janeiro, 2005.
- BALLAGH, K. O. Acoustical Properties of Wool. Applied Acoustics, Vol. 48, No. 2, pp. 101- 120, 1996
- BENTO, I. C. D., MAYER, A., BATISTA, M. A. Como a matemática das formas (Fibonacci) e a biodiversidade do cerrado brasileiro podem contribuir para evitar novas tragédias como a da Boate Kiss: O uso de casca de baru para confecção de placas de isolamento acústico (2060). Congresso Febrace, 2019.
- BERANEK, Leo L. Acoustics. New York: Acoustical Society of America & American Institute of Physics, 1996.
- BISTAFA, S. R. Acústica aplicada ao controle do ruído. São Paulo: Edgard Blücher, 2006
- CHEN, K., & KANG, J. (Janeiro de 2017). Acoustic Confort in Large Dining Spaces. Applied Acoustics.
- COQUIM, Produtos Coquim: Placa Acústica. Disponível em: <http://www.coquim.com.br/conteudo.php?area=produtos&id=27>.
- CORREA, M. P., Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, Vol. I. (1926-1978)
- CUNHA, P. W. S. Estudo sobre as Potencialidades de Compósitos à base de Gesso e Fibras de Coco Seco para Aplicação na Construção Civil. 120 f. Tese de Doutorado em Ciências Exatas e da Terra – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- CROCE, B. (2018). Materiais Acústicos: O Mercado e o Desempenho Acústico.
- DE MARCO, Conrado Silva. Elementos da Acústica Arquitetônica. 2ª Edição. São Paulo: Nobel, 1982.
- DELANY, M. E.; BAZLEY, E. N. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. Applied Acoustics. Vol. 3, pp. 105-116, 1969
- ECYCLE. (2019). Fibra de vidro: matéria-prima de muitos itens pode expor riscos no processo de produção. Fonte: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/6-atitude/958-fibra-de-vidro-materia-prima-de-muitos-materiais-pode-expor-riscos-noprocesso-de-producao.html>
- EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken. Master Handbook of Acoustics, Fifth Edition. United States of America: McGraw-Hill Companies, 2009.
- FAHY, F. Foundations of Engineering Acoustics. Academic Press, 2000

- FILHO, L. E. (Julho de 2014). PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA. DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA. Campus de Ilha Solteira.
- FLACH, F. (2012). Investigação do potencial de absorção sonora acústica de compósitos de argamassa com materiais reciclados. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- FRIEDRICH, O. (2008). O homem e o espaço.
- GENC, G. Investigation of the acoustic properties of bio luffa fiber and composite materials, 2015.
- GERGES, S. N. Y. Ruído: fundamentos e controle. 1 ed. 600p. Florianópolis, 2000.
- IANNACE, G. The Acoustic Characterization of Green Materials. Building Acoustics. Vol. 24, No. 2, pp. 101-113, 2017.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO 10534-1:1996. Acoustic – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Part 1: Method using standing wave ratio. 1ª ed, 22 pp. 1996.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO 10534-2:1998. “Acoustics - Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes - Part 2: Transfer - Function Method”. Genève, Switzerland, 1998.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO 354:2003. “Measurement of sound absorption in a reverberant room”. 2003.
- KARAKY, H.; MAALOUF, C.; BLIARD, C.; GACOIN, A. EL WAKIL, N.; POLIDORI, G. Characterization of Beet-pulp Fiber Reinforced Potato Starch Biopolymer. Composites for Building Applications. Construction and Building Materials. Vol. 203, pp. 711–721, 2019.
- KUTTRUFF, Heinrich. Room Acoustics. Fifth Edition. Canadá: Spon Press, 2009
- KOIZUMI, T.; TSUJIUCHI, N.; ADACHI, A. The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers. High Performance Structure and Composites. 2002.
- LEI Nº16.499 -2016. Dispõe sobre a elaboração do Mapa do Ruído Urbano da Cidade de São Paulo e dá outras providências.
- LONG, M. Architectural acoustics. Elsevier Academic Press, USA, 2006.
- NOR, M. J., JAMALUDIN, N., & TAMIRI, F. M. (2004). A Preliminary Study of Sound Absorption Using Multi-Layer Coconut Coir Fibers. Technical Acoustical. Eletronic Journal Technical Acoustics.
- OLIVEIRA, M. R. (2018). POLUIÇÃO SONORA: UM ESTUDO DE CASO DO PARQUE EÓLICO ASA BRANCA II, LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE PARAZINHO-RN. *Periodicos UEM*.
- OUTA, R. Estudo e análise do coeficiente de absorção acústico do compósito da fibra de cana. 70 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.
- OUTA, R.; CHAVARETTE, F. R.; BASQUEROTTO, C. H. C. C.; GONÇALVES, C. Análise das Características de Absorção Acústica e Mecânicas das Fibras Vegetais Alongadas Mercerizada da Cana e Bambu. Revista Iberoamericana de Ingenieria Mecânica. Vol. 21, No. 2, pp. 73-84. Jul. 2017.
- OTTO FRIEDRICH. O homem e o espaço. Curitiba: UFPR, 2008.
- PARLAMENTO EUROPEU, D. 2. (2002). *Assessment and management of environmental noise*.
- PAULA, R. N. F. Ondas longitudinais. 2020. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/ondas-longitudinais/>

- PAZOS, D. F. P. Caracterização da reflexão sonora de barreiras acústicas com superfícies corrugadas periódicas. 2015. Tese. (Doutor em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- PICADA, G. S.; Potencial das sobras de porongos da fabricação de cuias como absorventes sonoros. 170f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.
- PROACÚSTICA. (2012). Fonte: PROACÚSTICA: <http://www.proacustica.org.br/publicacoes/cases/fortaleza-primeira-cidade-brasileira-a-ter-sua-carta-acustica/>
- PUTRA, A.; ABDULLAH, Y.; EFENDY, H.; FARID, W. M.; AYOB, M. R.; PY, M. S. Utilizing Sugarcane Wasted Fibers as a Sustainable Acoustic Absorber. Malaysian Technical Universities Conference on Engineering & Technology. Procedia Engineering. pp. 63 –638. 2012.
- SATYANARAYANA, K. G., GUILMARAES, J. L., e WYPYCH, F. “Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications” Composites: Part A. 2007.
- SANTOS, J. L. P.; ALVES, C. C. S.; SIMOES, M. R. Estudo dos materiais alternativos para uso em absorção acústica. ANTAC SOBRAC ABERGO. pp. 315-322, 1992.
- SANTOS, J. L. P.; SCHERER, J.M.003B Estudo da Potencialidade acústica da bucha vegetal como absorvente sonoro. Congresso ELACAC, 2005.
- SILVA, F. P. Determinação de coeficiente de absorção acústica em placas fabricadas com resíduos de E.V.A.
- SERRANO, P. (25 de Março de 2019). Fonte: Portal Acústica: <http://portalacustica.info/acustica-ambiental-ruído-em-parques-eolicos/>
- SILVEIRA, E. (06 de outubro de 2019). BBC NEWS. Fonte: Site da BBC NEWS: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-49858734>
- TRISOFT. (2019). *Manta de Pet Substitui Lã de Rocha e Lã de Vidro com Eficiência em Isolamento Térmico e Conforto Acústico*. Fonte: <https://www.trisoft.com.br/mantade-pet-substitui-la-de-rocha-e-la-de-vidro/>.
- VIEIRA, R. J. (2008). Desenvolvimento de Painéis Confeccionados a Partir de Fibras de Coco para Controle Acústico de Recintos. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pará*.
- OLIVEIRA, M. R. (2018). POLUIÇÃO SONORA: UM ESTUDO DE CASO DO PARQUE EÓLICO ASA BRANCA II, LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE PARAZINHO-RN. *Periodicos UEM*.
- PARLAMENTO EUROPEU, D. 2. (2002). *Assessment and management of environmental noise*.
- PROACÚSTICA. (2012). Fonte: PROACÚSTICA: <http://www.proacustica.org.br/publicacoes/cases/fortaleza-primeira-cidade-brasileira-a-ter-sua-carta-acustica/>
- VIEIRA, R. J. (2008). Desenvolvimento de Painéis Confeccionados a Partir de Fibras de Coco para Controle Acústico de Recintos. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pará*.
- WASSILIEFF, C. Sound absorption of wood-based materials. Applied Acoustics. Vol. 48, No. 4, pp. 339-356, 1996
- ZULKIFLI, R.; ZULKARNAIN; NOR, M. J. M. Noise Control Using Coconut Coir Fiber Sound Absorber with Porous Layer Backing and Perforated Panel. American Journal of Applied Sciences. Vol. 7, No. 2, pp. 260-264, 2010.