

FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Painel acústico de baixo custo e impacto ambiental para espaços abertos

Pereira, L. A. V.¹; Correia, L. A.²

¹ Arquitetura e Urbanismo, UNICEUB, Brasília, DF, Brasil, aciola.pereira@sempreueub.com

² Arquitetura e Urbanismo, UNICEUB, Brasília, DF, Brasil, ludmila.correia@ceub.edu.br

Resumo

Brasília, uma cidade planejada, se diferencia de outras cidades por suas peculiaridades, seja por seu urbanismo setorizado, por sua arquitetura modernista característica ou por seu belo paisagismo. Entretanto, a proximidade dos bares e restaurantes - localizados nas chamadas entrequadras comerciais - da área residencial gera muitos conflitos. Devido ao tamanho reduzido das lojas nas entrequadras comerciais, muitos estabelecimentos utilizam a área externa pública para colocar mesas e cadeiras, gerando assim uma fonte sonora que muitas vezes ultrapassa o limite de som noturno. Isso porque o som das músicas, ou até mesmo da interação entre as pessoas, se propaga facilmente por longas distâncias no Plano Piloto de Brasília, onde a morfologia das edificações sobre pilotis abre espaço para a propagação livre (CORREIA *et al.*, 2016). Como solução para tal problema, o isolamento ou tratamento acústico interno, quando existente, não é suficiente, pois a fonte sonora se encontra muitas vezes externa ao estabelecimento. A presente pesquisa propõe, como solução para reduzir tais conflitos, a instalação de barreiras acústicas móveis e compostas por painéis com material absorvedor na face voltada para a fonte. A fim de buscar um material que fosse mais acessível economicamente aos bares e restaurantes, que tivessem um baixo impacto ambiental em sua produção e que ao mesmo tempo tivessem uma boa eficiência acústica, foram propostas diferentes composições com diferentes materiais de origem vegetal, como poliuretano vegetal, fibra de coco, fibra de bananeira, fibra de agávia, fibra de cana de açúcar e fibra de bambu. Foi medido o coeficiente de absorção sonora de diversas amostras até chegar em 5 composições que se mostraram ter melhor eficiência acústica.

Palavras-chave: Barreira Acústica, Fibras Vegetais, Poliuretano Vegetal, Absorção Acústica.

PACS: 43.50.Gf, 43.50.Gf, 43.50.Rq, 43.55.Ev

Abstract

Brasília, a planned city, differs from other cities for its peculiarities, whether for its sectorized urbanism, for its characteristic modernist architecture or for its beautiful landscaping. However, the proximity of bars and restaurants - located in the so-called commercial spaces - from the residential area generates many conflicts. Due to the small size of the stores in the commercial spaces, many establishments use the public outdoor area to place tables and chairs, thus generating a sound source that often exceeds the limit of nocturnal sound, since the sound of music, or even the interaction between people spreads easily over long distances, especially in Brasília, where the morphology of buildings on Pilotis opens even more space for propagation (CORREIA *et al.*, 2016). As a solution to this problem, the internal acoustic treatment, when existing, is not enough because the sound source is often external to the establishment, so the present research proposes as a solution to reduce such conflicts the installation of Acoustic Barriers, mobile and composed of panels with absorbent material on the face facing the source. To find a material that is more economically accessible to bars and restaurants, that has a low environmental impact in its production and that at the same time has a good acoustic efficiency, different compositions of materials of vegetable origin were proposed, such as vegetable polyurethane, coconut fiber, banana fiber, agave fiber, sugar cane fiber and bamboo fiber. The sound absorption coefficient of several samples was measured until reaching 5 compositions that proved to have good acoustic efficiency.

Keywords: Acoustic Barrier, Vegetable Fibers, Vegetable Polyurethane, Acoustic Absorption.



1 INTRODUÇÃO

Diferente de muitas outras cidades, a capital brasileira, Brasília, no Distrito Federal, apresenta características únicas como sua setorização, a presença intrínseca da natureza e grandes rodovias, que cortam a cidade de norte a sul.

Seu comportamento acústico também é diferente, pois mesmo com suas grandes e intensas rodovias não há a mesma incomodidade de outras metrópoles, devido à considerável distância que a maioria das áreas residenciais tem dos grandes eixos (GARAVELLI *et al.*, 2014).

Entretanto, a proximidade dos bares e restaurantes - localizados nas chamadas *entrequadras comerciais* - da área residencial gera muitos conflitos. Moradores, usuários e proprietários dos bares e restaurantes estão em constante impasse, pois com ou sem música ao vivo, os estabelecimentos são fontes sonoras devido à interação e conversa, alinhado com a falta de tratamento acústico dos estabelecimentos, o que gera algumas vezes fontes sonoras bastante elevadas (CORREIA *et al.*, 2016). Consideramos, assim, necessário buscar soluções que possam minimizar tais conflitos.

Muitos bares e restaurantes não dispõem de espaço físico interno às lojas, além de que em climas tropicais como em Brasília é muito comum o uso das áreas externas ao estabelecimento com mesas e cadeiras. Torna-se, portanto, ineficiente apenas o condicionamento acústico interno dos estabelecimentos, além de ser muito difícil a redução do incômodo sonoro gerado no espaço aberto devido à falta de barreiras físicas que em um espaço interno tem. Além disso, a morfologia das edificações, em pilotis, facilita a propagação do som por uma distância muito maior do que em locais com a malha urbana densamente construída.

A utilização de barreiras acústicas como solução para a redução de ruído em eixos rodoviários e metroviários já é bastante difundida. Elas também podem ser interessantes para atenuar o incômodo sonoro gerado pelos

bares e restaurantes, uma vez que assim como as rodovias, são fontes localizadas em espaços abertos, sendo assim inviável isolar o som.

Para utilização de barreiras acústicas em bares e restaurantes, é necessário pensar em alguns aspectos que para as rodovias não tem tanta relevância. Por exemplo, o aspecto estético pode interferir no conforto visual dos clientes do estabelecimento. Além disso, as barreiras para esse tipo de estabelecimentos precisam ser instaladas em áreas públicas para serem eficazes e não é possível sua fixação permanente, necessitando assim que seja montada apenas durante o funcionamento do estabelecimento.

Visando contribuir para minimizar o impacto gerado pelo lazer noturno em bares e restaurantes, essa pesquisa buscou estudar as características acústicas de materiais de origem vegetal para a composição de um material acústico que possa ser utilizado nos painéis das barreiras acústicas.

O material a ser desenvolvido deve ser: a) compatível visualmente com os ambientes que serão instalados; b) viável economicamente, com custo acessível, visando uma melhor adesão dos bares de todas as categorias; c) produzir um menor impacto ambiental, buscando assim a o uso de materiais de origem vegetal e a reutilização de materiais industrializados; d) de alta resistência a intempéries; e) peso e dimensões menores possíveis para facilitar sua montagem, desmontagem, transporte e armazenamento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em espaços abertos, costuma-se encontrar um campo sonoro direto, o som que chega ao receptor é aquele emitido da fonte e propagado diretamente a ele, sem que haja grandes interferências de outros elementos. Ao implementarmos uma barreira acústica para atenuar e redirecionar esse som, criamos também um campo reverberante, similar ao que acontece em recintos fechados, onde o som que chega ao receptor é a união do som emitido diretamente da fonte mais aquele que é refletido pelas superfícies que delimitam o campo.

Para reduzir a fonte sonora, portanto, é importante que a face da barreira que está voltada para a fonte facilite a atenuação por meio da absorção sonora. Caso contrário, ela poderá reverberar o som, aumentando a intensidade da fonte sonora.

A seguir, apresentaremos os principais aspectos que se propõe serem analisados ao se projetar ou selecionar uma barreira acústica, relacionando-os às soluções estudadas nessa pesquisa.

2.1 ASPECTOS ECONÔMICOS E ECOLÓGICOS

Dentre os aspectos que tornam um material mais interessante economicamente, estão a redução de custo e tempo de produção, além da facilidade de execução, que dispensa mão de obra especializada. O estudo e desenvolvimento de um material acústico utilizando matéria prima vegetal, renovável e de descarte de outros setores, além de ter um caráter ecológico, pode criar uma fonte de renda, devido a simplicidade do processo de confecção do material, sem a utilização de equipamentos industriais ou produtos químicos, viabilizando sua produção com pequena infraestrutura.

O custo dos materiais está muito ligado ao grau de complexidade de sua produção, bem como aos processos que a matéria prima é submetida para se transformar no produto final. Os materiais feitos a partir de fibras vegetais, em sua maioria, utilizam como matéria prima resíduos de outros setores, reduzindo muitas vezes o custo de aquisição da matéria prima a zero. Além disso, por utilizarem uma matéria prima na qual as fibras já estão “prontas”, dispensam a fusão em altas temperaturas, acarretando um custo inferior referente a essa etapa do processo produtivo.

O tempo para a produção de um material está muito relacionado ao tipo de material e ao seu processo de produção. Materiais como a lã de vidro e a lã de rocha, necessitam de um maior tempo para a extração de sua matéria prima. O processo de produção desses materiais é altamente industrializado, ganhando assim uma maior rapidez e produção.

Para materiais que utilizam matéria prima vegetal, por utilizarem como matéria prima resíduos de outros setores, o tempo de extração da matéria prima é nulo. Porém, o tempo de produção dos materiais de fibras vegetais em sistemas manuais é um pouco elevado, o que acarreta em um aumento no valor. Mesmo assim, seu custo tende a ser menor do que de outros materiais, especialmente se forem utilizados métodos mais eficazes para produção das fibras em maior escala.

2.2 SOLUÇÕES ACÚSTICAS PARA ESPAÇOS ABERTOS

Segundo Bistafa (2011), pode ser considerado uma barreira acústica qualquer elemento ou obstáculo que ficar entre a linha da fonte ao receptor, impedindo o contato visual direto entre eles. Eles podem ser a própria topografia, uma edificação, vegetação etc.

As barreiras acústicas são elementos inseridos entre uma fonte sonora e um receptor, na intenção de diminuir o impacto dessa fonte ao receptor. Elas podem ser fixas ou móveis e geralmente são compostas por painéis modulares, para facilitar a sua montagem, desmontagem e manutenção.

As barreiras fixas têm por característica maior robustez, peso e não requerem muita manutenção. Elas podem ser acopladas em estruturas preexistentes no local ou inseridas em áreas externas. São exemplos de barreiras fixas as barreiras inseridas em eixos viários, em áreas externas em casas de show que não necessitem ser desmontadas.

Já as estruturas móveis têm por característica sua divisão modular, que facilita sua montagem, desmontagem e armazenamento sem necessidade de grandes maquinários. Elas podem ser implementadas em áreas externas de bares e restaurantes, quando estes utilizam áreas públicas e a implementação de barreiras fixas não é permitido, em eventos com música etc.

Quanto ao formato das barreiras acústicas, elas podem ser lineares ou poligonais. A escolha do melhor tipo de formato depende de cada situação, do tipo de fonte e ambiente, porém a



eficiência da barreira está intrinsecamente ligada a escolha certa do seu formato.

Barreiras acústicas lineares por exemplo, costumam ser eficientes em situações em que a fonte está perto da barreira, pois quanto mais distante a fonte estiver da barreira, maior será a altura dela. Para que se obtenha o resultado esperado e para minimizar a altura necessária da barreira, é possível acrescentar ao seu topo um cantilever, estrutura inclinada para dentro da área em que a fonte se encontra que reduz o efeito da difração. Já as barreiras poligonais são mais eficientes quando não é possível ou desejado tem uma barreira muito extensa, pois assim como a inclinação do cantilever acarreta a diminuição da altura da barreira, a inclinação das bordas, criando o formato poligonal, diminui a extensão necessária para se atingir o resultado esperado.

As barreiras acústicas são compostas principalmente por sua estrutura e por seus painéis, cujo a função principal é atenuar o som. Os painéis podem ser classificados de acordo com sua função e composição como refletores ou absorvedores. Painéis refletores, normalmente são peças monolíticas e autoportantes, tem uma alta densidade e por isso, tem como característica principal a reflexão do som. Painéis absorvedores, que são compostos por materiais que promovem absorção na face voltada à fonte buscam atenuar ainda mais o som, evitando o reforço da fonte.

Bistafa (2011) e Costa (2003) classificam os painéis absorvedores em três tipos: Painel perfurado sobre material absorvente (poroso ou fibroso), Membrana flexível sobre material absorvedor (fibroso ou poroso) e Painel ressonante. Os painéis perfurados sobre material absorvente, como o próprio nome diz, são compostos por uma placa rígida, geralmente de madeira ou metal, que permite a passagem do som por meio dos furos até um material absorvente acústico, poroso ou fibroso. Esse é um dos tipos de solução mais utilizados para barreiras acústicas.

2.2.1 Materiais de absorção acústica

Segundo Gerges (2000), os materiais de absorção acústica são aqueles capazes de

transformar parte da energia acústica em energia térmica. Normalmente esses materiais são porosos - como espumas, nos quais a dissipação da energia sonora se dá por múltiplas reflexões das ondas sonoras e pelo atrito viscoso - ou fibrosos - nos quais a energia é dissipada ao entrar nos interstícios das fibras, fazendo-as vibrarem junto com o ar, gerando assim um atrito entre elas e a transformação da energia sonora em térmica. Uma das características mais importantes de um material acústico é a capacidade que o ar tem de atravessar o material, possibilitando assim que as ondas sonoras entrem no material e seja dissipada por ele (GERGES, 2000).

Estudos vêm sendo feitos a respeito do uso de fibras vegetais no desenvolvimento de materiais acústicos (OUTA, 2014; LOUREDO, 2019). A grande vantagem da utilização de materiais fibrosos de origem vegetal, além da sua eficiência como material absorvedor, além do apelo ecológico, é a grande disponibilidade de matéria prima, pois em sua maioria, os materiais utilizados são resíduos de outros setores.

Além disso, materiais vegetais são renováveis, de fácil descarte, se não for empregado componentes químicos na sua confecção, leves, não necessitam de equipamentos de segurança para manusear e são de fácil confecção, podendo ser uma boa fonte de renda para comunidades de menor poder aquisitivo, contribuindo para a economia local.

3 DESENVOLVIMENTO

Em busca de uma solução que minimize o impacto do som aos moradores que residem próximos a bares e restaurantes de funcionamento noturno, a presente pesquisa analisou possíveis materiais de origem vegetal que pudessem ser utilizados na composição dos painéis de barreiras acústicas móveis como material absorvedor da face voltada para a fonte.

O estudo voltou-se para materiais que fossem mais acessíveis economicamente, que tivessem um baixo impacto ambiental em sua produção e que ao mesmo tempo tivessem uma boa eficiência acústica. Foram propostas composições com diferentes materiais de origem vegetal, como poliuretano vegetal, fibra

de coco, fibra de bananeira, fibra de agávia, fibra de cana de açúcar e fibra de bambu. Através da medição do coeficiente de absorção sonora das amostras, pôde-se chegar em cinco composições que se mostraram ter melhor eficiência acústica. Essas composições foram classificadas de acordo com suas características em cinco grupos: PU, A, B, C e D.

O grupo PU foi criado para analisar a absorção acústica da espuma expansiva bicomponente de poliuretano vegetal, Mamonex RD 70, da Imperveg, levando em consideração a proporção entre seus componentes (A e B) e a espessura das amostras. Ele é composto por 4 amostras, constituídas por uma única camada de espuma, como pode ser observado na Tabela 01.

Tabela 01: Grupo PU (Mamonex RD 70)

Amostra	Espessura	Proporção A	Proporção B
PU 1	1cm	0.8	1
PU 2	1cm	1	1
PU 3	5cm	0.8	1
PU 4	5cm	1	1

O grupo A foi criado para testar o impacto da espuma expansiva de poliuretano vegetal na absorção acústica das fibras vegetais.



Imagem 02: Amostras com poliuretano e fibra vegetal

Ele é composto por 5 amostras formadas por sanduíche formado por duas camadas da espuma expansiva, envolvendo uma camada de fibra vegetal, totalizando uma amostra de 5cm de espessura, como pode ser visto na Tabela 02 – Grupo A (PU + Fibras Vegetais).

Tabela 02: Grupo A (PU + Fibras Vegetais)

Amostra	Fibra	Espessura (cm)	Proporção	
			A	B
A1	Poliuretano + Bambu	5cm	0.8	1
A2	Poliuretano + Coco	5cm	0.8	1
A3	Poliuretano + Bananeira	5cm	0.8	1
A4	Poliuretano + Cana de Açúcar	5cm	0.8	1
A5	Poliuretano + Agávia	5cm	0.8	1

O grupo B foi criado com as amostras do Grupo A que obtiveram os padrões mínimos estabelecidos pela pesquisa, na intenção de verificar a absorção sonora das fibras separadamente. O Grupo é composto por 4 amostras, constituídas apenas pela camada de fibra vegetal, como pode ser visto na Tabela 03.



Imagem 03: Amostras com fibra vegetal

Já o Grupo C foi criado para verificar a absorção sonora de uma amostra de fibra de bambu onde foi possível adicionar uma massa de fibra de bambu superior à amostra B1, devido ao volume inferior das fibras do bambu antes de ser prensado. A amostra C1, como pode ser visto na Tabela 03, é constituída de uma camada de 2cm de fibra de bambu.

Tabela 03: Grupos B e C (Fibras Vegetais)

Amostra	Fibra	Espessura
B1	Bambu	3cm
B2	Coco	3cm
B3	Bananeira	3cm
B4	Cana de Açúcar	3cm
C1	Bambu	2cm



Devido aos resultados satisfatórios da absorção das amostras do Grupo B e C, foi criado o Grupo D, onde foi analisado a junção de dois tipos diferentes de fibras, visando uma composição com absorção ainda maior. O grupo é composto por 4 tipos de composições, como pode ser visto na Tabela 04.

Tabela 04: Grupo D (Multifibras)

Amostra	Fibra 1	Esp. 1 (cm)	Fibra 2	Esp. 2 (cm)	Esp. Final (cm)
D1	Bambu	2	Cana de Açúcar	3	5
D2	Bambu	2	Bananeira	3	5
D3	Cana de Açúcar	3	Bananeira	3	6
D4	Coco	3	Cana de Açúcar	3	6

Para unir as fibras, foi utilizada cola à base de PVA, do fabricante HENKEL (tipo CASCOREZ EXTRA), como aglomerante na composição. O resultado obtido foi satisfatório, logo ele foi empregado em todas as amostras.

Vale ressaltar que nem todas as fibras necessitam do uso de aglomerantes, como por exemplo a fibra de bananeira, que mostrou ter uma aderência apenas com a prensagem da fibra quente e úmida. Porém optou-se por usar o aglomerante em todas as amostras como forma de padronizar as amostras.

3.1 Desenvolvimento dos Materiais

Tendo como base pesquisas acadêmicas de desenvolvimento de outros materiais utilizando fibras vegetais, foi criado um processo de produção para ser seguido na confecção das amostras. O processo de produção é representado pela Imagem 01.



Imagem 01: Processo de produção das amostras

A primeira etapa do processo é a *coleta* de matéria prima para a produção das composições que, em sua maioria, se tratam de resíduos de outros setores. Logo, esta etapa foi desenvolvida em locais de descarte de cada fibra.

Em seguida temos o *desfibramento*, onde as fibras foram separadas para a confecção das amostras. Para a extração das fibras do côco, inicialmente foi utilizada uma metodologia totalmente manual, onde o côco foi cortado em quatro partes, foi removido a parte dura, onde fica sua água, batendo com um martelo sobre cada parte para separar as fibras e deixando e por fim as fibras foram postas ao sol para secar. Devido à ineficiência desse processo, por demandar muito tempo para extrair pouca quantidade de fibra, foi introduzido um moedor elétrico de cana de açúcar, assim o processo de separação das fibras foi acelerado, retirando a maior parte da água presente nas fibras e separando-as. Após passar pelo moedor, as fibras foram separadas manualmente, colocadas para secar ao sol durante três dias e por fim armazenadas para a produção das amostras.

Para a extração das fibras das folhas da Agávia, as folhas foram cortadas em tiras com aproximadamente 5cm de largura, em seguida foram passadas pelo moedor elétrico para retirar a água presente nas fibras e separar as fibras. Após serem passadas pelo moedor, as fibras foram colocadas para secar em um varal ao sol por 3 dias.

Para a extração das fibras da bananeira, os troncos coletados foram limpos, cortados novamente em tamanhos menores, de aproximadamente 40cm, e posteriormente em pedaços menores com dimensões equivalentes ao tamanho do liquidificador utilizado para triturar e separar as fibras. As fibras trituradas passaram então por um processo de cozimento em uma panela de pressão, durante 1h, para retirar as substâncias presentes na bananeira que poderiam acelerar o processo de decomposição da amostra. Após o cozimento das fibras, elas foram prensadas manualmente com uso de um amassador de batata, para retirar o máximo de água das fibras, formando assim pequenos cilindros, que ficaram expostos por mais 3 dias ao sol para remover o máximo de umidade e poder ser armazenado até a confecção do painel.

Para a extração das fibras da Cana de Açúcar, os bagaços foram triturados com um liquidificador, as fibras trituradas foram escurridas em uma peneira, para retirar o

máximo possível da água utilizada na trituração. Por fim as fibras foram espalhadas em bandejas e colocadas para secar ao sol durante 3 dias.

3.1.1 Confeção das Amostras

Para a confecção das amostras, seguiram-se a aplicação de *aglomerante* e *prensagem*, para posterior *secagem*. Foi calculada a massa de fibras necessária para se obter uma densidade equivalente a 200kg/m^3 na camada das fibras, chegando ao valor de 135g de fibra. Para fixar as fibras utilizou-se cola branca como aglomerante na proporção de 1g fibra / 1g cola, diluindo a cola em água na proporção de 1g cola / 0.5ml água.

O primeiro passo para a confecção das amostras foi pesar as 135g de cada fibra e de cola branca, em seguida foi adicionado 67,5ml de água, para diluir a cola e possibilitar a mistura da cola em todas as fibras. Tendo pesado as fibras e a cola diluída, misturou-se as fibras com a cola em uma panela, em seguida foi colocado a mistura na forma de madeira de 15cm x 15cm x 10cm.

Por fim, as fibras foram prensadas, durante 6h, em uma prensa caseira, onde foi adicionado peso em cima da forma até que as fibras atingissem a espessura de 3cm. Com exceção das fibras de bambu, que também foram testadas com densidade de 300kg/m^3 , prensada com 2cm. A fibra de bambu foi a única que foi testada com maior densidade pois o volume que as 135g de fibra ocupavam era relativamente inferior que as demais, e devido a simplicidade da prensa utilizada, foi a única que a prensa conseguiu prensar até atingir uma densidade maior. Após serem prensadas, as placas de cada fibra foram deixadas para secar ao sol durante um dia. Ao final dessa etapa, as placas para retirada das amostras do Grupo B e C estavam prontas.

Iniciou-se então o processo de aplicação da espuma expansiva de poliuretano vegetal em ambas as faces das placas, para confecção das amostras do Grupo A. Para a aplicação do poliuretano, foi misturado 16ml do componente A com 20ml do componente B, referente a proporção 0.8/1, em um copo plástico, para facilitar a limpeza e reutilização do recipiente ao longo da aplicação em todas as placas, pois o

poliuretano tem uma baixa aderência ao plástico.

Os dois componentes foram misturados e despejados dentro da forma e foi colocada a tampa para limitar a expansão da espuma a altura desejada de 1cm. Após 30 minutos, foi repetido o processo do outro lado da forma para criar as duas faces de poliuretano. Após serem desenformadas, as amostras foram cortadas no diâmetro de 6cm, equivalente ao diâmetro do porta-amostra do tubo de impedância, utilizando um tubo de aço com um borda afiada, para a produção das amostras do Grupo A.

Por fim, foram feitas as amostras do grupo PU, misturando primeiro 20ml do componente A com 25ml do componente B, proporção 0.8/1 e 1/1, e repetido o processo dito anteriormente. Por fim, foi feito o corte dos cilindros com 1 e 5 cm de altura, gerando assim as amostras do Grupo PU.

3.2 Ensaios e Caracterização Acústica

As amostras passaram por um processo de pesagem, determinando assim a massa de cada uma delas. As dimensões das amostras já eram conhecidas, logo não foi necessário fazer medições, e com elas foi calculado o volume de cada amostra. Com esses dados, foi possível calcular a *densidade aparente* de cada amostra, dividindo a massa de cada uma dela pelo seu volume respectivo. Para calcular a *densidade superficial* foi calculada a área superficial de cada amostras e dividida a massa da amostra pelo valor encontrado. Por fim, o valor da densidade superficial, apresentado em Kg/m^2 , foi convertido para g/m^2 para chegar na *gramatura*.

A *caracterização acústica* de um material é feita quando se deseja de verificar a viabilidade da utilização de um material, analisando a eficiência do material quanto a absorção ou isolamento gerado por ele. As duas propriedades que melhor caracterizam um material quanto ao seu desempenho acústico são a *perda de transmissão* e o *coeficiente de absorção sonora*. A presente pesquisa caracterizou apenas o Coeficiente de Absorção Sonora, pois os materiais desenvolvidos são feitos de fibras vegetais, tendo um baixo peso e



uma baixa densidade, além de possuírem espaços vazios em seu interior, o que permite que o ar e consequentemente o som, transpasse o material. Tais características os configuram melhor como materiais absorvedores, característicos em tratamento para atenuação sonora.

As amostras foram submetidas a ensaios no Laboratório de Acústica e Vibrações (LabNVH), da Universidade de Brasília (UNB). Para a realização dos testes, foi utilizado o tubo de impedância comercial da empresa BSWA modelo SW 466. Para calcular o coeficiente de absorção sonora (α_w), utilizou-se o *software* VA-Lab4, com o método de função de transferência e a técnica de dois microfones, segundo a ISO 10534-2.

Para realizar os cálculos no *software*, foram utilizados os seguintes dados: Pressão Atmosférica = 101325, Temperatura = 20°, Umidade Relativa = 50%, Velocidade do som = 343,237 m/s, Densidade do Ar = 1,202 kg/m³ e Impedância Característica do Ar = 412,568.

Os testes foram realizados utilizando o tubo de impedância SW060-L, cujo diâmetro interno é de 6cm, com duas configurações diferentes de microfone. Em ambas as configurações, foi selecionado o modelo *60mm Wide Spacing Large Tube from BSWA* no *software* VA-Lab4.

Na primeira configuração, foi testado a absorção do material na faixa de frequência de 100 a 800 Hz e na segunda configuração, na faixa de frequência de 800 a 2500 Hz. Cada material foi testado três vezes e em cada teste. Foram feitas análises com os microfones em duas posições, invertendo os microfones entre elas. Após serem feitos os três testes do material, o resultado final foi exportado em banda de 1/3 de oitava.

Os dados obtidos nos ensaios foram importados no *software* Excel para análise dos dados e criação das tabelas e gráficos que serão apresentados neste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Densidade Aparente, Densidade Superficial e Gramatura

Os valores aproximados obtidos a partir da pesagem e medição das amostras são apresentados a seguir, na Tabela 05.

Observa-se que nas amostras do Grupo PU, a proporção indicada pelo fabricante de 0.8/1 atingiu uma densidade superior a indicada pelo fabricante, de 70Kg/m³. Já a proporção de 1/1, atingiu o valor indicado para a proporção anterior.

Do Grupo A, apenas as amostras A1 e A2, obtiveram uma densidade variada entre 136 e 332 kg/m³, sendo classificadas como de média densidade, característica importante para os painéis de barreiras acústicas móveis, onde o peso do painel pode ser um fator limitante.

Os Grupos B e C ficaram com as amostras de maior densidade, variando de 121 a 392 kg/m³, característica que refletiu diretamente no desempenho das amostras no ensaio do tubo de impedância, que será apresentado posteriormente. Por fim, o Grupo D, apresentou uma maior uniformidade na densidade das amostras, ficando perto dos 200 kg/m³, pensados na etapa de pesquisa e desenvolvimento teórico dos materiais. Assim como Bastos (2009) apresentou em sua pesquisa, foram feitos dois testes em cada amostra, alterando a face voltada para a fonte, para analisar que posição teria a melhor absorção.

Comparando com materiais existentes, a densidade dos materiais ficou mais próxima de materiais de maior rigidez, como o Painel Fiberwood da empresa OWA, com densidade de 550 kg/m³ e menos de materiais com textura de lã, como a TECH FELT IR50 da empresa Trisoft, que tem densidade de 35 kg/m³.

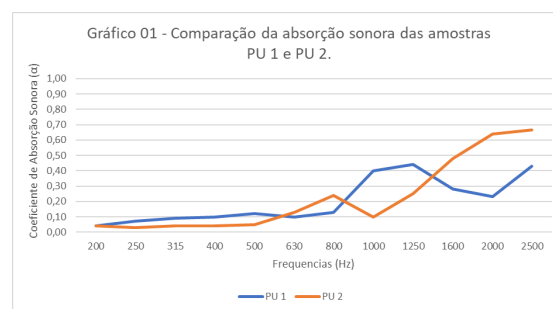
Acredita-se que a característica de rigidez adquirida pelos materiais se deve pelo tipo de aglomerante utilizado na confecção dos painéis.

Tabela 05: Resultado do Ensaio de Densidade Aparente, Densidade Superficial e Gramatura.

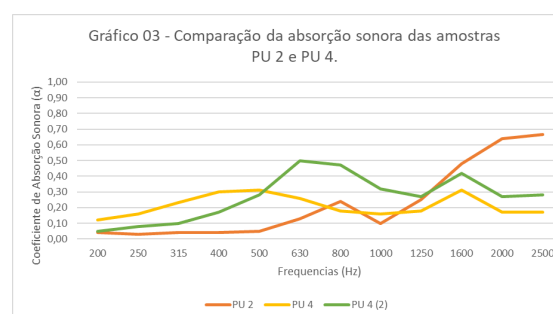
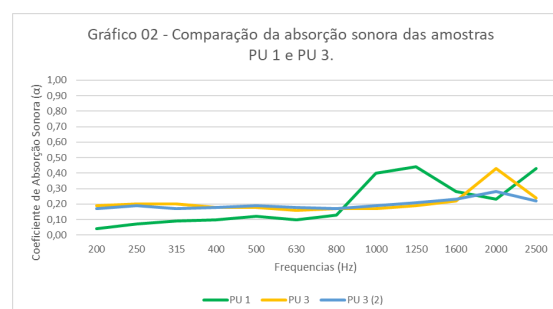
Amostra	Material	Esp. (cm)	Dens. (kg/m³)	Dens. Sup. (Kg/m²)	Gramat. (g/m²)
PU 1	Poliuretano	1cm	141,47	1,41	1414,71
PU 2	Poliuretano	1cm	70,74	0,71	707,36
PU 3	Poliuretano	5cm	84,88	4,24	4244,13
PU 4	Poliuretano	5cm	70,74	3,54	3536,78
A1	Poliuretano + Bambu	5cm	332,46	16,62	16622,85
A2	Poliuretano + Coco	5cm	226,35	11,32	11317,68
A3	Poliuretano + Bananeira	5cm	165,05	8,25	8252,48
A4	Poliuretano + Cana de Açúcar	5cm	136,76	6,84	6837,77
A5	Poliuretano + Agávia	5cm	198,06	9,90	9902,97
B1	Bambu	3cm	392,98	11,79	11789,26
B2	Coco	3cm	294,73	8,84	8841,94
B3	Bananeira	3cm	157,19	4,72	4715,70
B4	Cana de Açúcar	3cm	121,82	3,65	3654,67
C1	Bambu	2cm	335,99	6,72	6719,88
D1	Bambu + Cana de Açúcar	5cm	200,42	10,02	10020,87
D2	Bambu + Bananeira	5cm	228,71	11,44	11435,58
D3	Cana de Açúcar + Bananeira	6cm	135,58	8,13	8134,59
D4	Coco + Cana de Açúcar	6cm	206,31	12,38	12378,72

4.2 Coeficiente de absorção

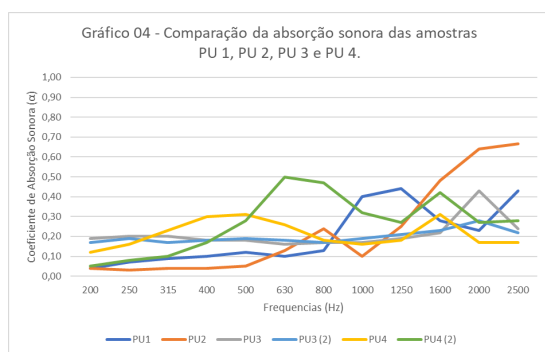
Ao analisar-se as amostras PU 1 e 2, para verificar se o aumento na densidade da espuma geraria um aumento na sua absorção (Gráfico 01), observou-se que até 800Hz não houve grande diferença entre as amostras, já em 1000Hz a PU 1 teve um desempenho melhor que a PU 2, e em 2000Hz a PU 2 teve desempenho superior. Não podemos afirmar que o aumento na densidade da espuma, usando proporções diferentes dos componentes, resulta em um aumento na sua absorção, apenas uma mudança na faixa de absorção.



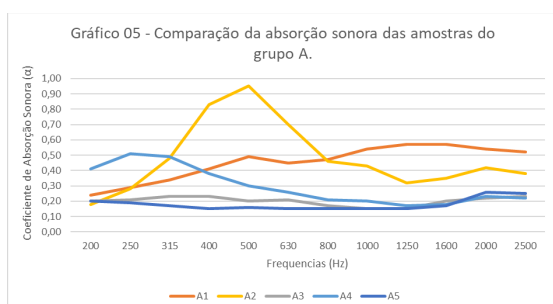
O segundo teste buscou verificar a influência da espessura na absorção da espuma. As amostras PU 3 e PU4 foram analisadas duas vezes, para confirmação dos dados (Gráficos 02 e 03). Foi possível assim verificar uma queda na absorção na faixa dos 1000Hz na amostra PU 3. Já na amostra PU 4 houve um aumento nas frequências inferiores a 1000Hz e uma queda nas frequências superiores.



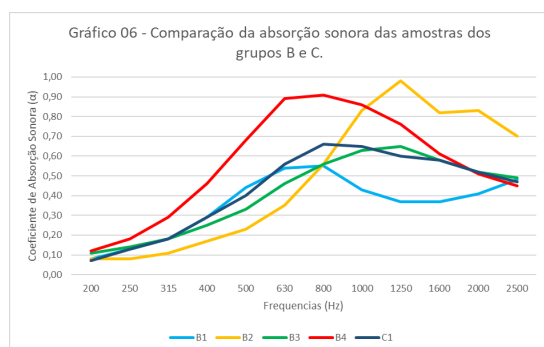
Após a análise dos dados, podemos observar que a espessura da espuma tem maior influência que a diferença na proporção dos componentes na absorção do material, porém mesmo aumentando a espessura da amostra em cinco vezes, houve apenas um pequeno aumento nas baixas frequências. Ao realizar uma comparação entre todas as amostras do Grupo PU, podemos observar que as amostras PU1 e PU2 se destacam pelos valores em alta frequência, e as PU4 em média frequência.



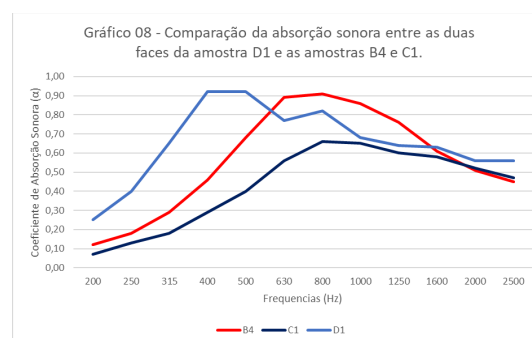
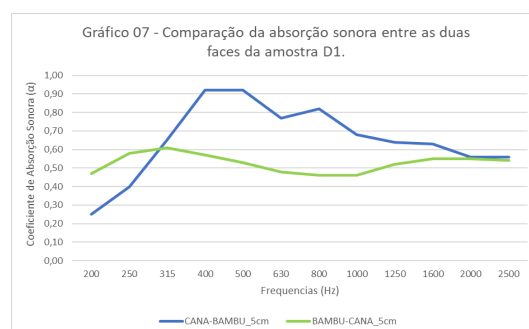
Em seguida foram analisadas as amostras do Grupo A (Gráfico 05). As amostras A3 e A5 apresentaram um comportamento muito parecido mas não conseguiram alcançar um coeficiente de absorção (α_w) superior a 0,3, se mostrando menos eficientes. A amostra A4 por sua vez apresentou uma melhor absorção na faixa de 200 a 500 Hz, chegando a 0,5 em 250 Hz, porém para frequências acima dessa faixa ela apresentou uma baixa absorção, equivalente as amostras A3 e A5. As amostras A1 mantiveram boa absorção entre 500 e 2500 Hz, com α entre 0,4 e 0,6, e α relevante entre 250 e 500 Hz, maior que 0,3.



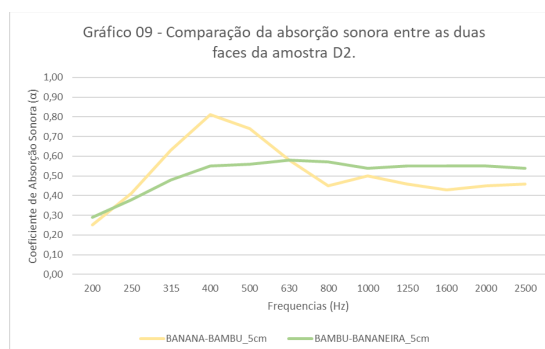
No terceiro ensaio foram analisadas as amostras dos Grupos B e C, observando-se que ao retirar a camada de PU, as amostras apresentaram resultados mais satisfatórios. As amostras que apresentaram os melhores resultados foram as B2 e B4, como apresenta o Gráfico 06.

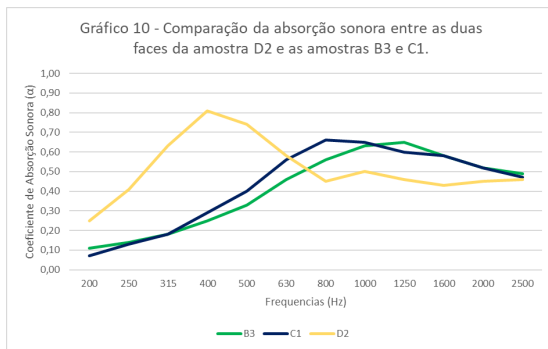


O Grupo D, misturando os 4 tipos de fibras, formaram amostras multifibras, visando melhorar os resultados. Como a amostra C1 foi superior a B1, mesmo tendo uma espessura menor, foi utilizado a amostra C1 no lugar da B1 no último tipo de composição. Na amostra D1, a face que obteve melhor resultado foi a da fibra de Cana de Açúcar (Gráfico 07). A junção das duas camadas (Gráfico 08) gerou um aumento na absorção das frequências entre 200 e 500 Hz, bem como entre 1600 e 2500 Hz, mas gerou uma queda em relação a amostra B4 nas frequências entre 500 e 1600 Hz.

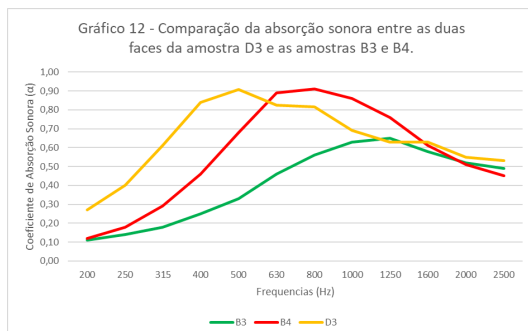
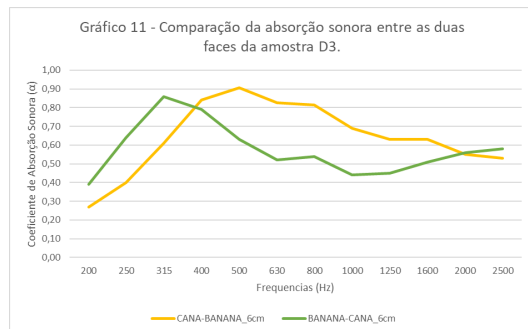


Na amostra D2, a face que obteve melhor resultado foi a com fibra de Bananeira (Gráfico 09). A junção das duas camadas (Gráfico 10) gerou um aumento na absorção das frequências entre 200 e 630 Hz e uma pequena queda nas frequências entre 630 e 2500 Hz.

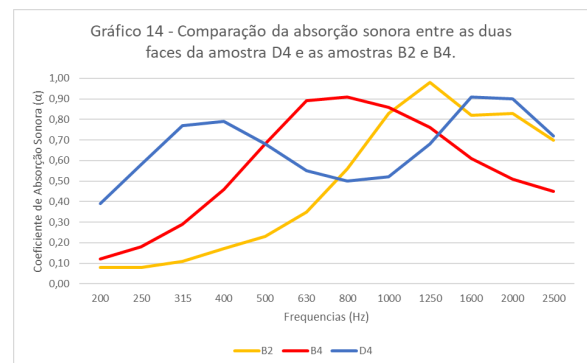
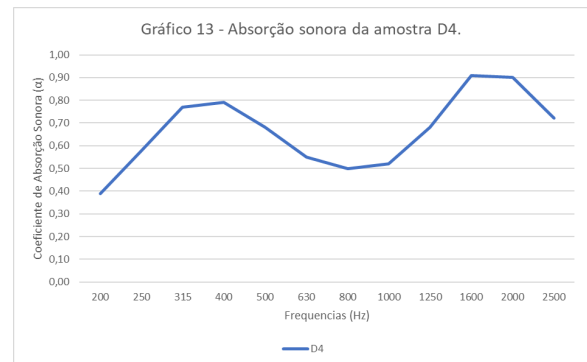




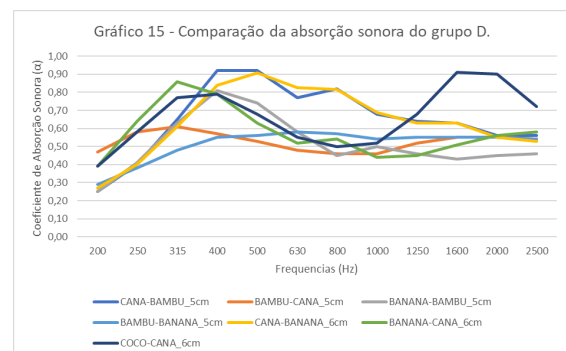
Na amostra D3, a face que obteve melhor resultado foi a da fibra de Cana de Açúcar (Gráfico 11). A junção das duas camadas (Gráfico 12) gerou um aumento na absorção nas frequências entre 200 e 500 Hz, bem como entre 1600 e 2500 Hz. Porém, gerou também uma pequena queda nas frequências entre 500 e 1600 Hz, em relação a amostra B4.



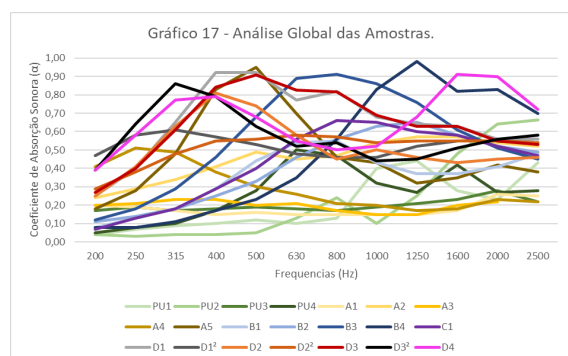
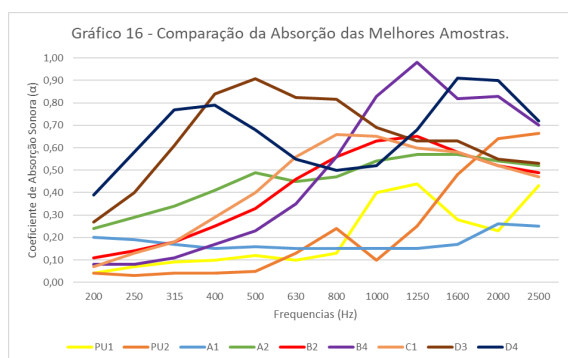
Na amostra D4 (Gráfico 13) só foi possível fazer a análise com a face da fibra de côco voltada para a fonte sonora, devido ao tempo de execução da pesquisa. A junção das duas camadas, como mostra o Gráfico 14, gerou um aumento na absorção nas frequências entre 200 e 500 Hz, bem como entre 1600 e 2500 Hz. Porém, gerou uma grande queda nas frequências entre 500 e 1600 Hz.



Em seguida foi feita a comparação das duas faces de todas as amostras do Grupo D, como mostra o Gráfico 15. Observou-se, a partir dos resultados, que as amostras D tiveram melhores resultados para baixas frequências, em geral mantendo coeficientes acima de 0,4 para todas as frequências.



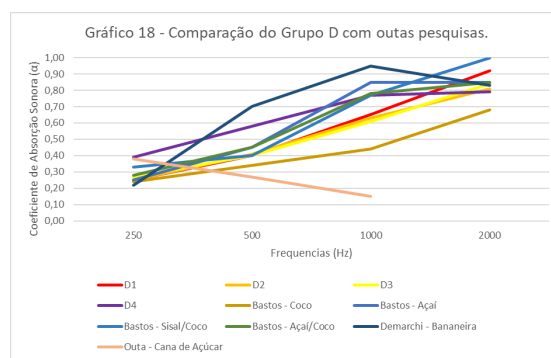
Finalmente, foi comparado o desempenho das melhores amostras de cada grupo, como pode ser visto no Gráfico 16, e uma análise global, com todas as amostras, apresentada pelo Gráfico 17.



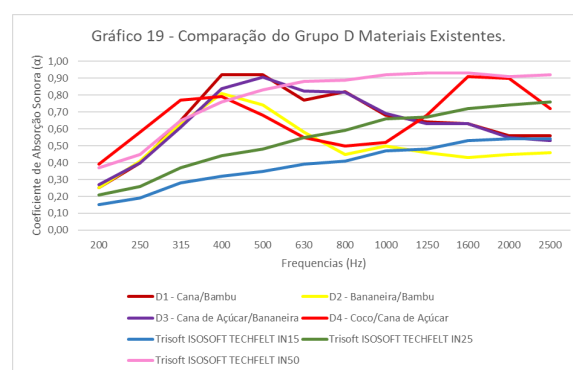
Analisando o NRC de todas as composições apresentado na Tabela 07, o material que apresentou o maior coeficiente é o referente à amostra D4, Multicamada de Cana de Açúcar e Coco, com a face de Coco voltada para a fonte. Porém todas as amostras do grupo D tiveram excelentes resultados, acima de 0,5. Além do Grupo D, as amostras do Grupo B e C, também tiveram bons resultados, acima de 0,35. Já o Grupo A, somente as amostras A1, A2 e A4 apresentaram uma média absorção. As amostras A3 e A5 e o Grupo PU não conseguiram atingir resultados satisfatórios.

Tabela 07 - NRC			
Amostra	NRC	Amostra	NRC
PU 1	0,21	B1	0,35
PU 2	0,21	B2	0,49
PU 3	0,25	B3	0,41
PU 4	0,21	B4	0,56
A1	0,47	C1	0,43
A2	0,52	D1	0,64
A3	0,20	D2	0,53
A4	0,31	D3	0,64
A5	0,19	D4	0,67

Realizamos, também uma comparação entre as 4 amostras que atingiram resultados acima de 0,6 e os resultados obtidos em outros trabalhos acadêmicos, como mostra o Gráfico 18.



Uma comparação entre as mesmas amostras e materiais existentes é apresentada no Gráfico 19.



Observa-se, a partir dos gráficos acima, que os resultados obtidos na pesquisa são tão ou mais satisfatórios do que materiais anteriormente testados, incluindo aqueles que se encontram no mercado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa desenvolveu diversos tipos de composições e materiais feitos a partir de diferentes tipos de fibras vegetais e comprovou a eficiência acústica de diversos deles. As matérias primas vegetais utilizadas e testadas foram as fibras de Bambu, Coco, Cana de Açúcar, Bananeira e Agávia e a espuma expansiva de poliuretano vegetal Mamonex RD70.

A espuma expansível de poliuretano vegetal, dentro dos materiais testados, quando utilizada sozinha, não apresentou uma absorção considerável, logo se mostrou ineficiente para condicionamento acústico sem a composição com outro material. Entretanto, este material apresentou excelentes características de proteção contra intempéries, impermeabilidade, impacto ambiental entre outras. Sugere-se então

para trabalhos futuros, o teste de mais amostras utilizando as mesmas proporções, entretanto, variando mais a espessura para avaliar com mais precisão a relação entre espessura e absorção da espuma.

As composições de poliuretano com fibras vegetais tiveram um baixo desempenho, porém as amostras com apenas fibras, em sua maioria, tiveram um desempenho moderado, mostrando a grande capacidade que as fibras podem atingir, se houver uma pesquisa mais apurada dos parâmetros que interferem na absorção do material.

As amostras que tiveram melhor desempenho foram as do Grupo D, com multifibras, mostrando que a união de diferentes tipos de fibras gera composições com maior eficiência acústica. Foram atingidos coeficientes entre 0,53 e 0,67 nas composições, comprovando que é possível a confecção de um material com baixo custo, baixo impacto ambiental e com boa eficiência acústica, com processos e equipamentos simples.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos aqueles que auxiliaram nessa jornada. Agradecemos ao curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário de Brasília (CEUB) por fomentar a pesquisa, apoiando seu desenvolvimento como pesquisa de iniciação científica em desenvolvimento tecnológico e inovação (PIBITI). Aos colaboradores da pesquisa, que doaram seu tempo, material ou conhecimento para que a pesquisa pudesse se desenvolver da melhor forma possível, em especial a Síntese Acústica, por fornecer os materiais para confecção das formas, ao Laboratório de Pesquisas em Construção e Fazeres Sustentáveis (LaPeCFaS), por ceder diversos materiais e conhecimentos de extrema importância para a pesquisa, bem como à empresa Imperveg, por disponibilizar o poliuretano para ser testado na pesquisa.

Agradecimentos especiais também à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília (Unb), por ceder o Laboratório de Acústica e vibrações (LabNVH) para os testes no tubo de impedância.

7 REFERÊNCIAS

- BASTOS, Leopoldo Pacheco. Desenvolvimento e Caracterização Acústica de painéis multicamadas unifibra, multifibras e mesclados, fabricados a partir de fibras vegetais. Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém. 2009.
- BISTAFA, Sylvio R. Acústica aplicada ao controle do ruído. 2ª Edição. São Paulo: Blucher, 2011.
- CAMPOS, Rubya Vieira de Mello. Painéis para tratamento acústico utilizando fibras naturais. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.
- CORREIA, L. A.; TREVISAN, R. ; GARAVELLI, S. ; MAROJA, A. ; CROCE, B. ; PIRES, J. . Paisagem sonora do Plano Piloto de Brasília: estudo de caso na Superquadra Norte 410 (SQN 410). In: X Ibero-american Federation of Acoustics Congress (FIA)/ 22nd International Congress on Acoustics ICA 2016, 2016, Buenos Aires. 22nd International Congress on Acoustics ICA 2016. Gonnet: Asociación de Acústicos Argentinos, 2016.
- DEMARCHI, Carlos Alberto. Aplicabilidade de placas de fibra de bananeira: caracterização, produção e absorção sonora. 2010. 106 fl. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.
- GARAVELLI, S. L. ; MAROJA, A. M. ; COSTA, C.A ; CARVALHO JÚNIOR, E. B.. O Projeto de Lucio Costa para Brasília DF e a Contaminação Acústica. In: 6º. Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável, 2014, Lisboa. Anais do 6º. Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável, 2014. v. 01. p. 1597-1608.
- GERGES, Samir Nagi Yousri. Ruído: fundamentos e controle. 2ª Edição. Florianópolis: S. N. Y. Gerges, 2000.
- LOUREDO, J. M. (2019). Painéis Acústicos em Bambu: Propriedades Mecânicas e Acústicas de Painéis Aglomerados Biocompósitos Produzidos a Partir de Bambu e Ácido Cítrico. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília,DF. 123p.
- OUTA, Roberto. Estudo e análise do coeficiente de absorção acústico do compósito da fibra de cana. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2014.
- VIEIRA, Rodrigo José de Andrade. Desenvolvimento de painéis confeccionados a partir de fibras de coco para controle acústico de recintos. 2008. 262 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2008. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.