

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ROBERTA CASTILHOS**

**AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS COMO AGREGADO EM PLACAS  
CIMENTÍCIAS PARA ISOLAMENTO ACÚSTICO DO RUÍDO DE IMPACTO EM  
SISTEMA DE CONTRAPISO LEVE ESTILO “SANDUÍCHE”**

**CAXIAS DO SUL**

**2021**

**ROBERTA CASTILHOS**

**AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS COMO AGREGADO EM PLACAS  
CIMENTÍCIAS PARA ISOLAMENTO ACÚSTICO DO RUÍDO DE IMPACTO EM  
SISTEMA DE CONTRAPISO LEVE ESTILO “SANDUÍCHE”**

Trabalho apresentado como requisito  
parcial para obtenção do Grau de Bacharel  
em Engenharia Civil da Universidade de  
Caxias do Sul

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Me. Marta Baltar Alves

**CAXIAS DO SUL**

**2021**

**ROBERTA CASTILHOS**

**AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS COMO AGREGADO EM PLACAS  
CIMENTÍCIAS PARA ISOLAMENTO ACÚSTICO DO RUÍDO DE IMPACTO EM  
SISTEMA DE CONTRAPISO LEVE ESTILO “SANDUÍCHE”**

Trabalho apresentado como requisito  
parcial para obtenção do Grau de Bacharel  
em Engenharia Civil da Universidade de  
Caxias do Sul

**Aprovada em 05/08/2021**

**Banca Examinadora**

---

Prof<sup>a</sup> Me. Marta Baltar Alves  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

---

Prof<sup>a</sup> Me. Muriel Scopel Froener  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

---

Prof Me. Givanildo Garlet  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Dedico este trabalho a meus pais, Roque e Marlei. Eles são, sem sombra de dúvidas, a fundação mais resistente da minha edificação, que está prestes a subir mais um pavimento. Acompanharam cada escora e desenforma da minha trajetória, acreditaram e confiaram no meu potencial e me deram dois grandes conselhos: ser uma pessoa boa e feliz.

## **AGRADECIMENTOS**

Os agradecimentos são tamanhos; a gratidão ainda maior.

Agradecimento especial as professoras que, com muita paciência e colaboração, orientaram e clarearam minhas ideias e pensamentos:

Muriel Scopel Froener que desde o TCC 1 não negou nenhuma vídeo chamada - mesmo que fosse quase meia noite – e se tornou uma grande inspiração pessoal e profissional. Obrigada por todas as dúvidas sanadas e por todas as explicações, seja nas orientações ou nos intervalos da disciplina de construções especiais.

Marta Baltar Alves, que mais que uma orientadora, se tornou minha amiga. Abriu as portas da sua casa e do LBTEC para me atender, independente do dia ou da hora. Obrigada pela calma e carinho que sempre conduziu as orientações e aulas.

Agradeço também o Baltasar e o César por todo auxílio prestado nos laboratórios.

Meu irmão: Estrela guia que norteia as rodovias da minha vida.

TODOS os meus professores, do ensino fundamental ao superior: Me ensinaram muito sobre a vida e sobre buscar ser alguém melhor todos os dias. Me ensinaram a questionar, a sonhar e a resolver todo e qualquer tipo de patologia que aparecesse no percurso.

Meus colegas da faculdade: pelas experiências e aprendizados compartilhados. Por aguentarem meus surtos nas semanas de entregas de trabalho, as crises véspera de prova e todas as figurinhas nos grupos de Whatsapp.

Meus amigos de verdade: sempre acreditaram na minha capacidade e entenderem minha ausência em muitos finais de semana, festas e viagens ao longo da graduação em conjunto com uma “vida de prenda”.

Todas as pessoas que direta ou indiretamente auxiliaram na realização deste trabalho. Sem vocês esse sonho não teria se concretizado!

*“Não tenha medo de viver, de correr atrás dos seus sonhos. Tenha medo de ficar parado”.*

**Anita Garibaldi**

## RESUMO

O objetivo principal do presente trabalho é verificar a potencialidade de incorporar resíduos de etileno acetato de vinila (EVA) e politereftalato de etileno (PET) na confecção de placas cimentícias para isolamento acústico do ruído de impacto em sistema de contrapiso leve estilo “sanduíche”, apresentando uma comparação dos resultados encontrados com base nas exigências apresentadas na NBR 15575-3 (ABNT, 2013). A metodologia utilizada para a pesquisa apresenta as características pertinentes dos materiais, como a caracterização, composição granulométrica e massa unitária, além da conversão traço empregado de 1:5:0,5 (aglomerante:aglomerado:água) de volume para peso para a confecção dos modelos de contrapiso nos tamanhos de 1m x 1m x 2,5cm. Em um protótipo de dois pavimentos, com as placas produzidas, foi realizado o ensaio acústico desses contrapisos seguindo as prescrições da ISO 16283-2:2020, onde no pavimento superior (sala emissora) foi colocada a máquina de impacto sobre os “sanduíches” a serem ensaiados e, no pavimento inferior (sala receptora), reposicionado cinco vezes o microfone para cada medição. A ponderação dos valores encontrados para comparação com a norma de desempenho foi feita de acordo com a ISO 717-2:2020, concluindo que a amostra com resíduo de PET teve um desempenho levemente superior à de EVA, embora ambos resíduos tenham se enquadrado na classificação intermediária da norma e necessitam de mais ensaios para comprovação dos resultados encontrados.

**Palavras-Chave:** Isolamento Acústico. Isolamento ruído de impacto. Resíduo de EVA. Resíduo de PET.

## ABSTRACT

The main objective of the present work is to verify the potential of incorporating residues of ethylene vinyl acetate (EVA) and polyethylene terephthalate (PET) in the manufacture of cementitious slabs for impact sound insulation like “sandwich” systems construction, showing which one is more effective based on the requirements presented in NBR 15575-3 (ABNT, 2013). The methodology used for the research presents the relevant characteristics of the materials, such as characterization, particle size composition and unit mass, in addition to the trace conversion used of 1: 5: 0.5 (binder: agglomerate: water) from volume to weight for the confection of the subfloor models in sizes 1m x 1m x 2.5cm. In a prototype of two floors, with the plates produced, these samples were acoustically tested following the requirements of ISO 16283-2: 2020, where no upper floor (emitting room) was placed the impact machine on the “sandwiches” to be tested and, without a lower floor (receiving room), repositioned the microphone five times for each measurement. The weighting of the values found for comparison with a performance standard was carried out in accordance with ISO 717-2: 2020, concluding that a sample with PET residue had a slightly superior performance than EVA, although both residues were considered to fall within the intermediate classification. of the standard and criteria for further tests to prove the results found.

**Keywords:** Soundproofing. Impact noise insulation. EVA waste. PET waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Setorização dos campos de estudos acústicos. ....	15
Figura 2 - Forma de propagação do ruído aéreo.....	17
Figura 3 –Forma de propagação do ruído de impacto .....	18
Figura 4 – Ilustração do ensaio de ruído de impacto.....	20
Figura 5 – Comparativo obtido por Silva Júnior.....	23
Figura 6 - Comparativo com materiais industrializados obtido por Silva Júnior.....	24
Figura 7 - Comparativo obtido por Silva et al. ....	25
Figura 8 – (a) Placa de EVA+Cimento sem superplastificante. (b) Placa de EVA+Cimento com superplastificante. (c) Espessura das Placas.....	25
Figura 9 – Comparação dos ruídos de impacto nas amostras de PET .....	27
Figura 10 - Comparação das amostras de PET com cerâmica popular .....	27
Figura 11 – Corpos de Prova: (a) borracha/PVA. (b) borracha/PVA/compensado....	28
Figura 12 – Teste realizado por Lima et al. ....	28
Figura 13 – Corpos de Prova de Lima et al.....	29
Figura 14 – Variação da intensidade sonora por porcentagem de agregado .....	29
Figura 15 - Comparação dos traços de PET .....	30
Figura 16 – Comparativo de Pet e Pneu por Carvalho.....	31
Figura 17 – Fluxograma do programa experimental.....	32
Figura 18 - Materiais utilizados como agregado miúdo .....	33
Figura 19 – Classificação das séries de peneiras .....	33
Figura 20 – Pesagem dos materiais para caracterização dos agregados .....	34
Figura 21 – Empilhamento das peneiras para caracterização dos agregados .....	35
Figura 22 - Curva granulométrica dos agregados .....	38
Figura 23 – Placas confeccionadas para a realização dos ensaios .....	42
Figura 24 - Placa cimentícia de borracha de pneu .....	43
Figura 25 - segregação da placa cimentícia de PET .....	44
Figura 26 - Protótipo disponibilizado pelo LBTEC .....	45
Figura 27 - Contrapiso estilo "sanduíche" criado com as placas cimentícias .....	46
Figura 28 - Equipamentos utilizados para medição do tempo de reverberação.....	47
Figura 29 - Disposição do autofalante no protótipo do LBTEC .....	47
Figura 30 - Planta baixa de locação da máquina de impacto e do microfone .....	48
Figura 31 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado .....	49
Figura 32 - Resultados obtidos para o piso de madeira .....	50

Figura 33 - Resultados obtidos para o contrapiso "sanduíche" de EVA .....	51
Figura 34 - Resultados obtidos para o contrapiso "sanduíche" com PET .....	52
Figura 35 - Manta terraço 10mm - Ebios.....	53
Figura 36 - Resultados obtidos com a manta em estilo "sanduíche" .....	54
Figura 37 - Comparação dos resultados e enquadramento na NBR 15575-3.....	55

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 QUESTÃO DA PESQUISA .....	13
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL E ESPECÍFICOS.....	13
1.2.1 Objetivo Principal .....	13
1.2.2 Objetivos Específicos.....	13
1.2 HIPÓTESE .....	13
1.3 DELIMITAÇÕES .....	13
1.4 LIMITAÇÕES .....	14
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1 ACÚSTICA.....	15
2.1.1 Som .....	16
2.1.2 Ruído .....	16
2.1.3 Isolamento Acústico.....	18
2.1.4 Desempenho acústico em pisos .....	19
2.2 USO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	20
2.3 MATERIAIS COMO ISOLANTES ACÚSTICOS.....	21
2.3.1 Etileno Acetato de Vinila (EVA).....	21
2.3.2 Politereftalato de Etileno (PET).....	26
2.3.3 Borracha .....	27
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	32
3.2 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS.....	33
3.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA.....	39
3.4 CONVERSÃO DO TRAÇO VOLUME PARA MASSA.....	40
3.5 CONFECÇÃO DAS PLACAS CIMENTÍCIAS.....	41
3.6 MÉTODO DE ENSAIO.....	46

<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os níveis de ruído acima dos aceitáveis causam, além de incômodos, interferências no desempenho de tarefas, afetam a saúde e o bem-estar do ser humano e causam diversos efeitos psicofisiológicos nos indivíduos, como por exemplo o estresse. Por isso, o isolamento do ruído é de grande interesse na construção civil, pois garante condições de habitabilidade e salubridade acústica no ambiente residencial (SANTOS, 2013).

Com isso, este trabalho busca apresentar um estudo sobre o uso do PET, do EVA e da borracha como agregado de contrapiso leve para isolamento acústico do ruído de impacto, com o intuito de contribuir com a solução de problemas ocasionados em estruturas existentes. Para tanto, serão apresentadas informações pertinentes ao tema e da utilização destes resíduos sólidos como agregados de compósitos cimentícios para efeitos de isolamento sonoro.

Seguindo a ideia de Lima et al. (2014), foram criados os corpos de prova no estilo “sanduíche” onde, aos compósitos cimentícios, foram encaixadas duas placas de madeira Jatobá para realização dos ensaios de isolamento acústico na câmara reverberante, simulando um piso de uma estrutura construída. Os resultados obtidos visam auxiliar a sanar problemas acústicos em edificações que necessitem reduzir o ruído de impacto em até 5 dB.

## 1.1 QUESTÃO DA PESQUISA

O uso dos resíduos de Etileno Acetato de Vinila (EVA), Politereftalato de Etileno (PET) e borracha de pneu, como agregados na confecção de placas cimentícias de contrapiso leve, podem auxiliar na redução sonora do ruído de impacto?

## 1.2 OBJETIVO PRINCIPAL E ESPECÍFICOS

### 1.2.1 Objetivo Principal

Esse trabalho tem como objetivo principal analisar a eficiência da substituição do agregado graúdo por resíduos em sistemas de isolamento acústico de piso, visando minimizar os ruídos de impacto causados no interior de uma edificação já existente.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar o comportamento sonoro praticado pelos contrapisos propostos por meio de ensaios laboratoriais.
- b) Determinar o índice de redução sonora conforme análise de dados coletados.
- c) Avaliar qual das placas possui com melhor desempenho.

## 1.2 HIPÓTESE

Por meio de ensaios laboratoriais utilizando placas moldadas com diferentes tipos de agregados é possível analisar a redução do ruído de impacto de cada uma, que, quando projetadas para tal, podem sanar problemas de conforto acústico ocasionados nas edificações.

## 1.3 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho delimita-se em analisar o comportamento dos resíduos de EVA, PET e borracha de pneu como agregados em revestimentos de contrapiso

leve estilo sanduíche utilizados para isolamento do ruído de impacto em edificações já existentes.

#### 1.4 LIMITAÇÕES

O presente trabalho se limita em analisar apenas um modelo de contrapiso para cada resíduo estudado devido a quantidade limitada de material disponível para confecção dos mesmos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

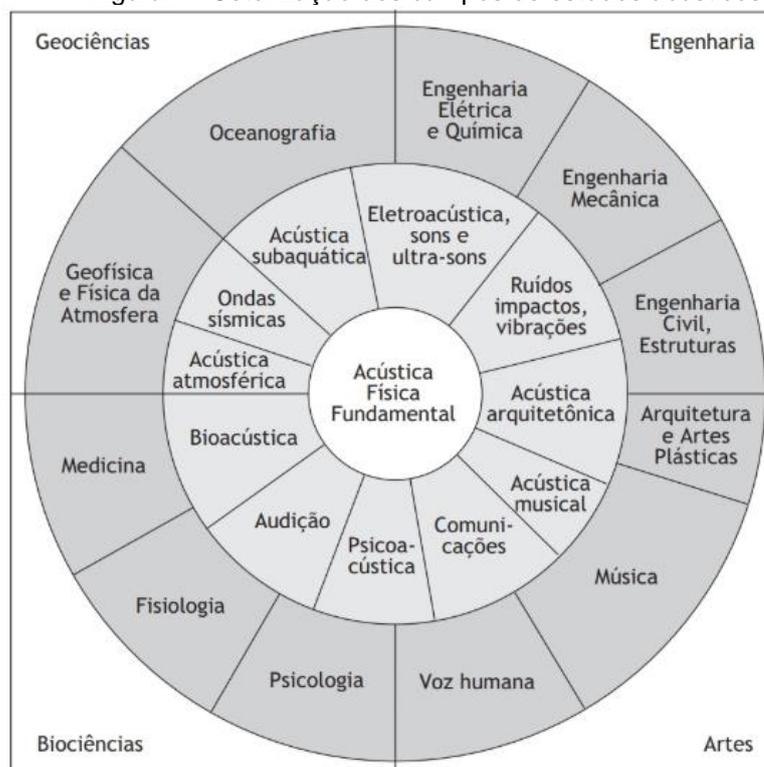
Neste capítulo serão abordados os temas sobre o uso de resíduos sólidos na construção civil e conceitos acústicos pertinentes ao estudo. Contudo, a maior ênfase será destinada às utilizações do EVA, do PET e da borracha de pneu para a finalidade de isolamento acústico.

### 2.1 ACÚSTICA

Há diversas definições para acústica nas bibliografias e normas disponíveis para consulta. No entanto, segundo Paixão (2002), acústica é o estudo do som e das vibrações que o produzem, avaliados objetiva e subjetivamente. Já para Bistafa (2018) é a ciência do som, incluindo sua geração, transmissão e efeitos.

Ainda segundo o autor o diagrama proposto por Lindsay nos permite uma ideia dos diferentes setores dos estudos acústicos, abrangendo as disciplinas que se dedicam aos estudos e aplicações da Acústica. Na Figura 1 se pode observar a setorização dos campos de estudo para geociência, engenharia, biociência e artes.

Figura 1 - Setorização dos campos de estudos acústicos.



Fonte: BISTAFA (2018, p. 6)

No entanto, para começar a falar em isolamento acústico é preciso entender seu significado e a diferença entre som, ruído e outros conceitos fundamentais para o desenvolvimento do mesmo. Por isso, no presente tópico haverá uma subdivisão de subtítulos com o intuito de definir cada conceito importante para o bom entendimento da acústica.

### **2.1.1 Som**

Na NBR 12179 (ABNT, 1992) som é definido como toda e qualquer vibração ou onda mecânica que se propaga num meio dotado de forças internas, capaz de produzir no homem uma sensação auditiva. Essa sensação auditiva corresponde às ondas ou vibrações encontradas na faixa de frequência entre as frequências de 15 Hz e 20000 Hz.

Diversos autores apresentam significados ainda mais amplos para definir som. Bistafa (2018) por exemplo, o define como a sensação produzida no sistema auditivo, ou seja, perturbações em frequências muito baixas (infrassons) ou muito elevadas (ultrassons), que não são ouvidas por uma pessoa normal, também se considera som.

### **2.1.2 Ruído**

A NBR 12179 (ABNT, 1992) identifica ruído como um som indesejável, uma mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa e que diferem entre si por valores perceptíveis ao ouvido humano. Pode-se completar essa definição como uma das principais causas de deterioração da qualidade de vida pois o ruído está correlacionado a problemas que incluem perda da audição, estresse, hipertensão, perda do sono, falta de concentração, baixa produtividade, redução de oportunidades de repouso e impacta econômica e financeiramente a vida das pessoas e de organizações (BISTAFA, 2018).

Os níveis de ruído acima dos aceitáveis causam, além de incômodos, interferências no desempenho de tarefas, na inteligibilidade da fala e no sono, afetando a saúde e o bem-estar do ser humano, causando diversos efeitos psicofisiológicos nos indivíduos, como o estresse (SANTOS, 2013). Por isso, se torna necessário chamar a atenção para o controle de ruído, de modo que o meio ambiente

sonoro do cidadão seja preservado, ou seja, certo silêncio urbano seja alcançado (CARVALHO, 2009).

### 2.1.2.1 Ruído aéreo e ruído de impacto

Em uma edificação podem ocorrer as duas formas de ruído: aéreo ou de impacto. Alguns elementos que estão sujeitos à ação de uma força de impacto ou vibração são os tetos e os pisos, enquanto as paredes estão mais expostas a ruídos aéreos (SANTOS, 2013).

A NBR 12179 (ABNT, 1992) caracteriza ruído aéreo como ruído ou som produzido e transmitido através do ar e pode ter sua origem ligada a buzinas, vozes e alto-falantes. Na Figura 2 está apresentada a forma de propagação desse ruído.

Figura 2 - Forma de propagação do ruído aéreo



Fonte: SAINT-GOBAIN ECOPHON (s.d.)

Já o ruído de impacto é caracterizado como ruído ou som produzido por uma percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar, como, por exemplo, queda de objeto, marteladas e instrumentos de percussão. Na Figura 3 podemos analisar como o ruído de impacto se propaga entre os ambientes.

Figura 3 –Forma de propagação do ruído de impacto



Fonte: SAINT-GOBAIN ECOPHON (s.d.)

### 2.1.3 Isolamento Acústico

Em acústica, isolar se entende como criar obstáculo, impedir a passagem do som de um ambiente para o outro (SANTOS, 2013). Já a NBR 12179 (ABNT, 1992) classifica como o processo pelo qual se procura evitar a penetração ou a saída, de ruídos ou sons, em um determinado recinto, ou seja, a proteção contra ruídos ou sons aéreos e ruídos ou sons de impacto.

Para se realizar o isolamento acústico, além do ruído, deve-se levar em conta as características dos materiais empregados, como a espessura, por exemplo. Por isso, não adianta separar com uma parede muito isolante duas salas contínuas, se o ruído pode ser transmitido por outros caminhos ou entrar e sair por janelas abertas, que acabam ocasionando a condução dos ruídos indesejados (POLL, 2009). Os materiais tipicamente usados para absorver som são fibrosos (lã de vidro e lã de rocha), ou porosos (espuma de poliuretano), por isso são leves e não possuem características estruturais (BISTAFA, 2018).

A medição do som tem caráter fundamental nos estudos de acústica pois permite avaliar e descrever o som, permitindo a construção de ambientes sonoros mais agradáveis, conforme com a necessidade do usuário do ambiente. Por isso, além do nível de pressão sonora, é importante destacar o tempo de exposição a tais níveis, indicando a insalubridade do ambiente para os usuários (SILVA JÚNIOR, 2007).

Quanto ao isolamento acústico em áreas residenciais, Viégas (2017) mostra que em ambientes abertos, como bares e restaurantes, não se consegue alcançar um isolamento satisfatório, pois qualquer fresta se torna caminho para a passagem direta do som. Além disso, mostra que embora as soluções de condicionamento acústico auxiliem na absorção do ruído, reduzindo o som gerado pelo estabelecimento, estas não garantem a redução do incômodo à vizinhança.

O isolamento do ruído é de grande interesse, pois garante condições de habitabilidade e salubridade acústica no ambiente residencial (SANTOS, 2013). Embora saibamos que o conforto acústico das edificações deve ser pensado ainda no momento de planejamento arquitetônico da edificação, muitas edificações não são projetadas para atender tal requisito. Sendo assim, o referido estudo se faz muito importante, pois buscará auxiliar no encontro dessa solução quanto a diminuição do ruído de impacto.

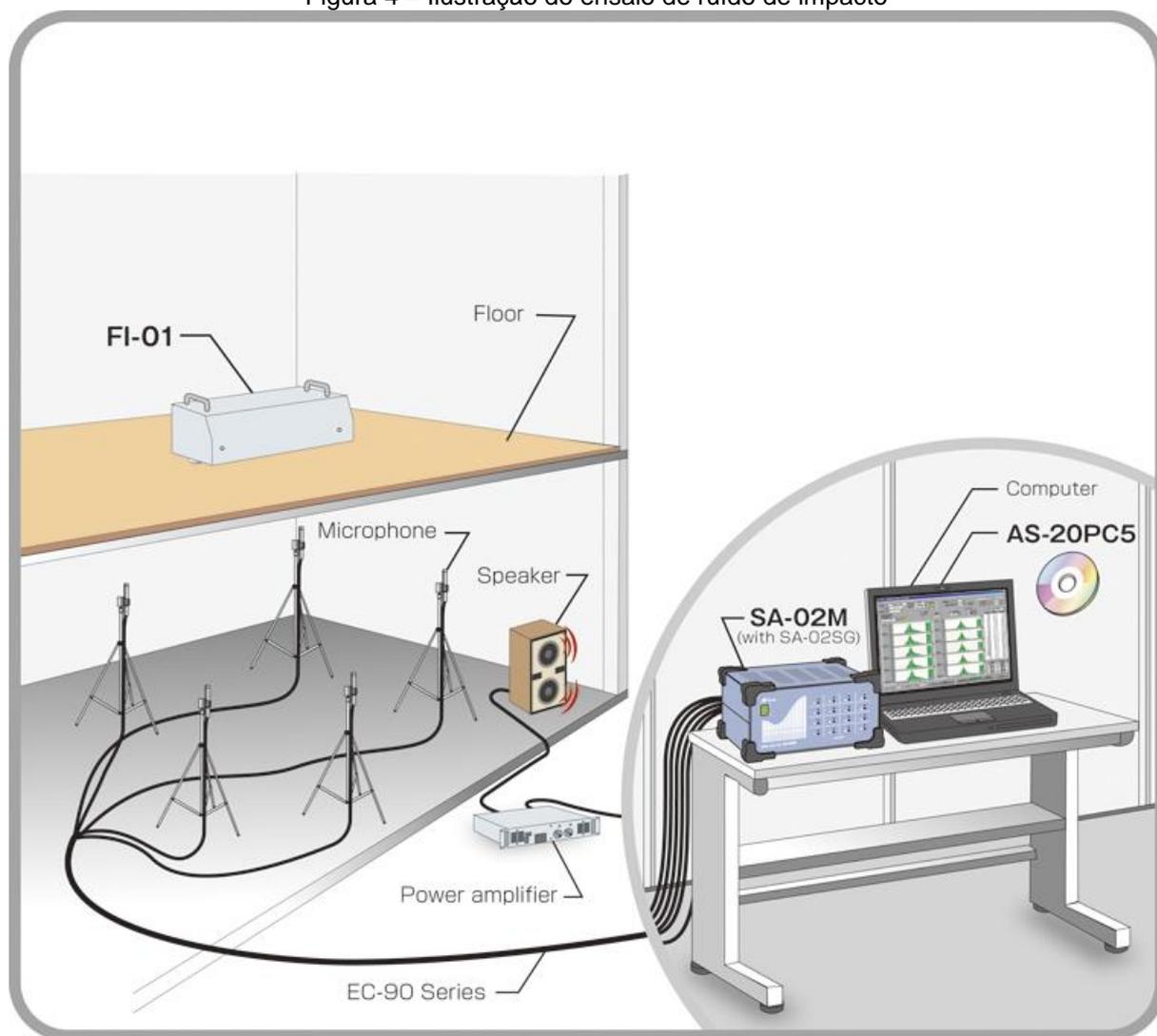
#### **2.1.4 Desempenho acústico em pisos**

A NBR 15575-3 (ABNT, 2013) estabelece parâmetros de níveis de ruídos para avaliar o desempenho acústico nos sistemas de pisos. Recomenda, para os ensaios em campo, a utilização do ensaio de isolamento de ruído de impacto por meio da ISO 16283-2:2020 e do nível de pressão sonora de impacto padrão-ponderado ( $L'nT,w$ ) com a ISO 717-2:2020.

A metodologia dessas normas internacionais consiste na geração do ruído de impacto por meio de uma máquina de impactos padronizada localizada no pavimento superior de uma edificação (sala emissora), e na medição do nível de pressão sonora no pavimento inferior (sala receptora), conforme apresentado na Figura 4. A máquina de impacto deve ser relocada quatro vezes e, para cada posição, realizar quatro medições do nível de pressão sonora de impacto. Os níveis registrados, em conjunto com a medição do tempo de reverberação e do ruído de fundo, passam por um

processamento de software que determina o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ), sendo este o valor comparável com os níveis de desempenho da NBR 15575-3 (ABNT, 2013).

Figura 4 – Ilustração do ensaio de ruído de impacto



Fonte: ACTIVE ACOUSTIC ENGINEERING SDN BHD (s.d.)

## 2.2 USO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A indústria da construção civil consome grandes volumes de matérias-primas na execução de obras de infraestrutura, de edifícios e de residências, a qual, por consequência, gera um grande impacto ao meio ambiente (BRAVO, 2014). Gomes Filho (2007), em sua dissertação, relata que o aproveitamento de materiais reciclados constitui uma ação imprescindível tanto para a preservação de recursos naturais, quanto para viabilização de produtos alternativos com custo mais reduzido.

O uso dos resíduos sólidos na construção civil do Brasil obteve grandes avanços por meio da normatização da NBR15116 (ABNT, 2004), que classifica os resíduos em quatro classes de possíveis utilização, atendendo as solicitações da resolução do CONAMA 307/2002. No entanto, por serem estes aplicados apenas pavimentações e concretos sem função estrutural, faltam critérios para a avaliação de demais materiais construtivos reciclados, reutilizados ou reaproveitados. Conforme a NBR15116 (ANBT, 2004), são as classificações:

- a) Classe A: Resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação, componentes cerâmicos e peças em concreto.
- b) Classe B: Resíduos recicláveis, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
- c) Classe C: Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação, como o gesso.
- d) Classe D: Resíduos perigosos oriundos do processo de construção ou contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos enquadrados como classe I da ABNT NBR 10004.

## 2.3 MATERIAIS COMO ISOLANTES ACÚSTICOS

Para Bezerra (2002), o aproveitamento de resíduos industriais, através de sua incorporação em materiais destinados à construção civil, tem sido uma alternativa válida ao longo do tempo. Segundo Silva Júnior (2007) diversas pesquisas vêm sendo conduzidas no sentido de estudar materiais alternativos de baixo custo para uso em absorção acústica, tais como fibras, produtos naturais e resíduos industriais.

Com isso, este trabalho busca analisar o comportamento dos resíduos de EVA, PET e borracha industrial como agregados em revestimentos para isolamento acústico em uma edificação já existente. Sendo assim, o presente capítulo tem por objetivo unir informações sobre o uso destes materiais para este fim, com base em outros estudos já realizados com os mesmos.

### 2.3.1 Etileno Acetato de Vinila (EVA)

O EVA, segundo Santos (2013) tem a capacidade de ser reciclado como agregado leve para a produção de compósitos aproveitáveis na construção civil. Já para Silva et al. (2016), é uma espécie de borracha expandida muito leve, de lenta decomposição, e solidifica-se através de uma reação química não reversível por calor,

sendo, portanto, de difícil reprocessamento. Garlet (1998) ainda completa que a elevada homogeneidade na concentração de acetato de Vinila garante estabilidade no processamento, assegurando qualidade uniforme ao produto final.

A deposição desse material não pode se dar em qualquer local pois se realizada em aterros sanitários pode representar sérias implicações ao meio ambiente, visto que possuem baixa velocidade de degradação, ou seja, não são biodegradáveis (SILVA JÚNIOR, 2007). Garlet (1998) ressalta que o EVA tem grande potencialidade para ser usado na construção civil sem função estrutural devido a sua baixa massa específica e características acústicas e térmicas e, por isso, vem sendo realizados estudos para aplicação deste resíduo na construção civil visto que este material possui diversas características que podem auxiliar no produto final de uma edificação.

Quanto ao comportamento no isolamento acústico, Silva et al. (2016) mostra que as placas com e sem acabamento mostraram resultados positivos, não interferindo em algumas frequências e melhorando o desempenho em outras. Bezerra (2002) afirma que conforme se aumenta o teor de acetato de vinila contido no copolímero de EVA, aumenta-se a elasticidade, a adesividade, a flexibilidade e a densidade e diminui a dureza e o ponto de amolecimento. Para o presente estudo serão utilizados resíduos de EVA em forma de aparas que serão buscados em instituições educacionais bem como serão utilizadas as aparas resultantes de atividades culturais realizadas na entidade.

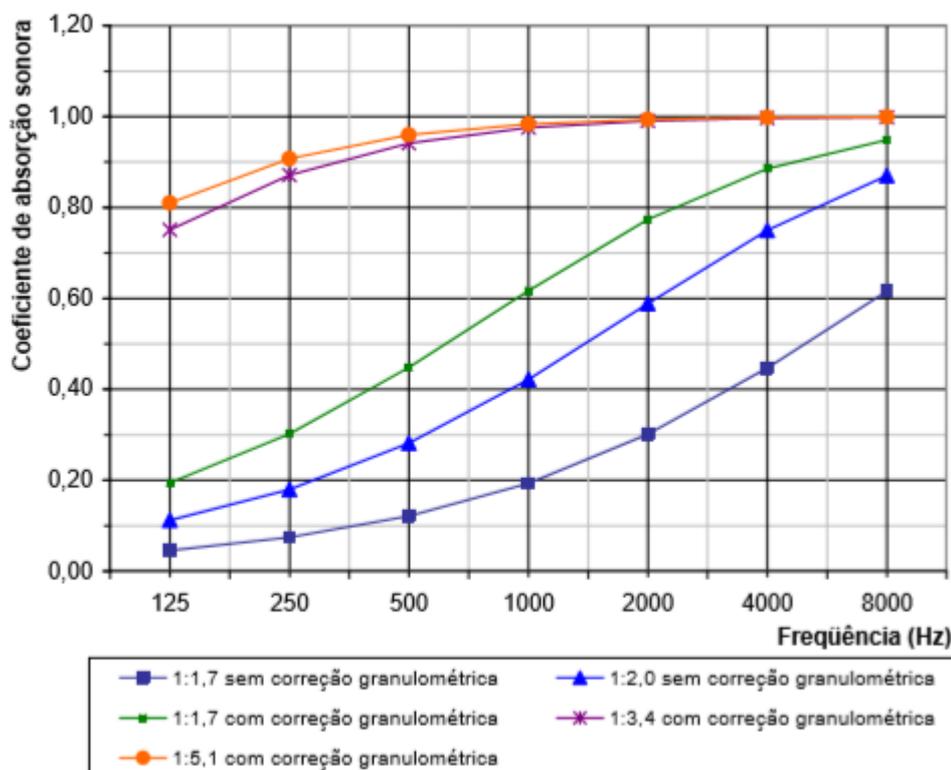
Garlet (1998) notou que concreto de EVA apresentou grande capacidade de absorção de energia quando submetido a carga, devido as características elásticas, que amortece o impacto, atenuando ou até mesmo eliminando o ruído. Além disso, ressalta que o concreto de EVA sem finos poderá ser utilizado com bons resultados na absorção do som devido a sua textura e rugosidade superficial.

Silva Júnior (2007), por sua vez, utilizou modelos confeccionados nas dimensões de 31x31cm com uma espessura de 2cm. Com o EVA com dimensão máxima característica de 4,8mm, confeccionou placas compostas de cimento Portland tipo CII-Z-32 e agregado leve de EVA. Os compósitos produzidos utilizaram os seguintes traços (aglomerante:resíduo), em volume: 1:1,7, 1:3,4, 1:5,1 e 1:6,8.

Por se tratar de um material de baixa densidade e com característica esponjosa, o agregado de EVA tende a absorver certa quantidade de água que pode prejudicar a trabalhabilidade da mistura, acarretando na redução de água disponível para reagir com o cimento, por isso, para evitar que isso aconteça, Silva Júnior (2007) imergiu o EVA em água previamente, colocando em balde com água, utilizando uma tela de nylon como barreira para garantir total imersão por 15 minutos, garantindo uma absorção de cerca de 35%. O fator água/aglomerante adotado foi de 0,50.

Depois de realizada a confecção dos compósitos, Silva Júnior (2007) relata que houve um aumento significativo do coeficiente de absorção sonora nas frequências de 1 a 4 kHz nas amostras confeccionadas no traço 1:3,4, mostrando um potencial uso na adequação acústica de ambientes conforme apresentado na Figura 5:

Figura 5 – Comparativo obtido por Silva Júnior

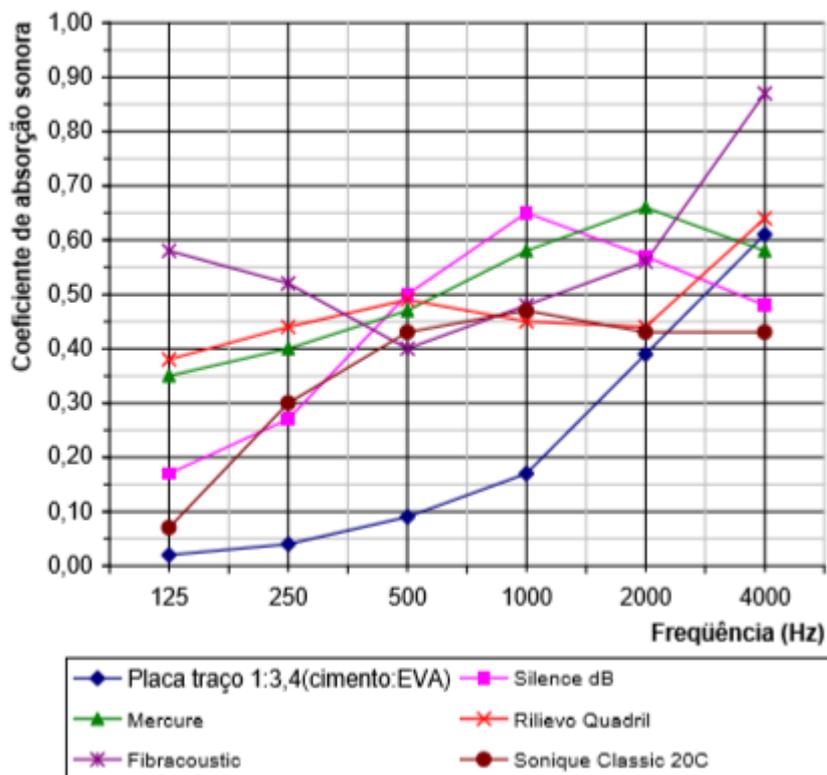


Fonte: SILVA JÚNIOR (2007).

Silva Júnior (2007), em seu estudo, ainda comparou, na faixa de frequência de 4kHz, o melhor traço encontrado, que foi o de 1:3,4, com materiais industrialmente produzidos, o qual apresentou um comportamento próximo ao de materiais produzidos com placas de gesso acartonado conforme apresentado na Figura 6. Nota-se ainda,

ao analisar a figura que, caso a frequência esteja situada na faixa de 2 a 4 kHz, o material substituir os industrializados com eficiência.

Figura 6 - Comparativo com materiais industrializados obtido por Silva Júnior



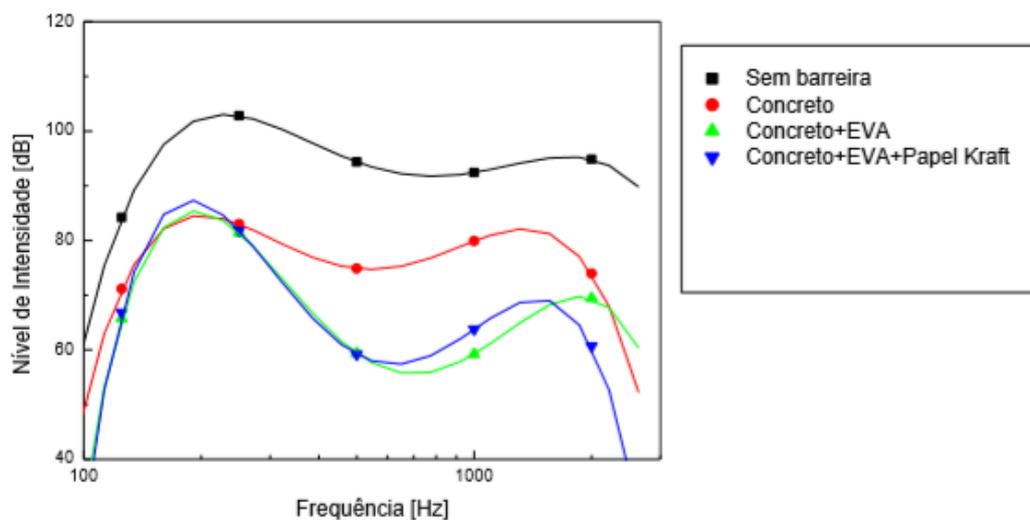
Fonte: SILVA JÚNIOR (2007).

Santos (2013), por sua vez, também utilizou agregados com diâmetro máximo característico igual a 4,8 mm e CP II-F 32, no entanto com a dosagem 1:5 (cimento:EVA) em volume. O modelo de 5 cm de espessura e 2,5 cm de camada de ar, resultou em um desempenho intermediário. Segundo Santos (2013) os resultados indicam que, com eventuais camadas de ar maiores que 1 cm entre as placas de EVA e laje pré-moldada, é possível conseguir maiores ganhos de isolamento acústico de impacto de piso.

Já nos estudos de Silva et al. (2016), o melhor traço obtido e utilizado para a fabricação das placas EVA+cimento e EVA+cimento+papelkraft foi de 1:0,62:0,45 (cimento:EVA:água), conforme apresentado na Figura 7, pois proporcionaram a melhor cobertura das aparas de EVA pelo cimento e também a melhor trabalhabilidade. Segundo Silva et al. (2016) O cimento que melhor apresentou resultados foi o CP-V, pois levou menos tempo para alcançar a resistência desejada, não apresentando fissuras em suas faces como ocorreu nas placas feitas com o CP-

IV. Quanto ao comportamento no isolamento acústico, Silva et al. (2016) afirma que as placas com e sem acabamento de papel kraft mostraram resultados positivos, não interferindo em algumas frequências e melhorando o desempenho em outras.

Figura 7 - Comparativo obtido por Silva et al.



Fonte: SILVA ET AL. (2016).

Quanto ao uso de superplastificante junto a mistura de cimento e EVA, Silva et al. (2016) comprova que a adição dele na mistura se obtém um resultado negativo. Explica ainda que o superplastificante influenciou somente em um maior período necessário no tempo de secagem das placas, apresentando uma espessura indesejável e tornando o material mais propício a esfarelamento, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – (a) Placa de EVA+Cimento sem superplastificante. (b) Placa de EVA+Cimento com superplastificante. (c) Espessura das Placas.



(a)



(b)



(c)

Fonte: SILVA ET AL. (2016).

### 2.3.2 Politereftalato de Etileno (PET)

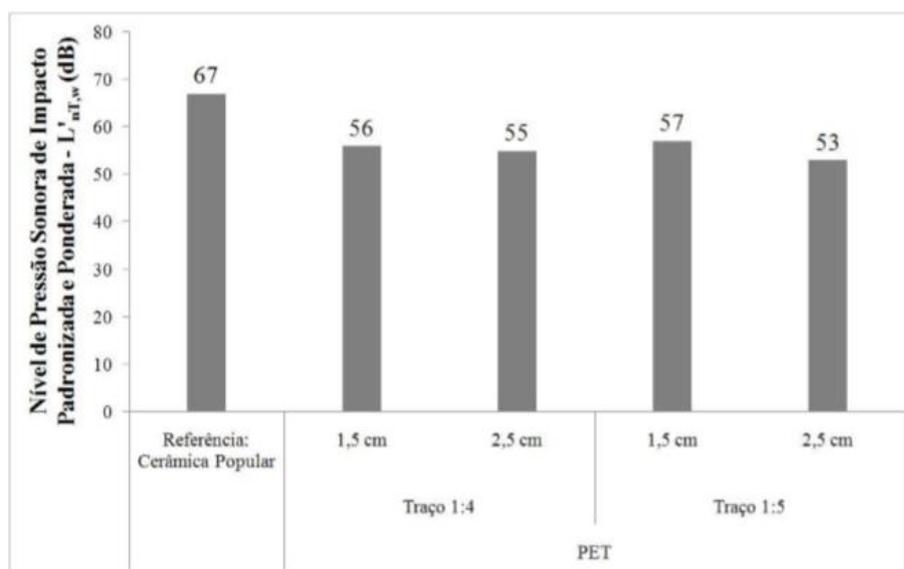
Segundo Fauth et al. (2016) a fibra de pet é fabricada a partir da reciclagem de garrafas pet descartadas na natureza, contendo variados tipos de fibras com características de isolamento térmico e acústico. Fauth et al. (2016) também ressalta que o pet possibilita um ótimo desempenho de custo-benefício, deixa a obra mais limpa e, principalmente, não agride o meio ambiente. Carvalho (2009) ainda apresenta as principais vantagens da substituição dos agregados ou do cimento na mistura do concreto que são a redução da extração de areia no meio ambiente e a diminuição do consumo de energia na geração do cimento.

Para Fauth et al. (2016) a fibra de pet é leve, de fácil manuseio e armazenagem, devido ao poder de compactação e resiliência e isola o ruído ou absorve quando instalada adequadamente. Além disso não irrita a pele e não oferece nenhum risco à saúde por não conter fungos ou bactérias, por isso, pode ser utilizada em diversas formas como, por exemplo, fachadas e coberturas, ou em pisos com aplicação de argamassa de regularização com espessura mínima de 3cm.

Carvalho (2009) afirma que o isolamento do ruído de impacto das amostras com pet teve um ganho maior com o aumento do resíduo. Em seu estudo, utilizou os traços de 1:4 e 1:5 para as amostras com os resíduos.

Todos os resultados do Carvalho (2009) apresentaram bom isolamento do ruído de impacto. Ao correlacionar os resultados entre si, uma diferença de 4 dB foi constatada entre as amostras de espessura de 1,5 e 2,5 cm no mesmo traço de 1:5 e, além disso, nota-se que o ruído de impacto foi menor na espessura de 2,5 cm em ambos traços, confirmando que o isolamento aumenta com a espessura, conforme apresentado na Figura 9.

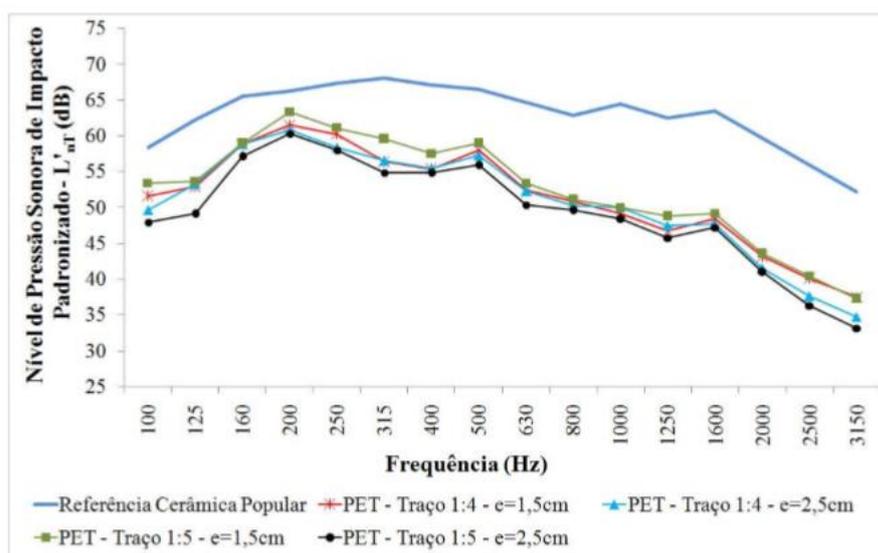
Figura 9 – Comparação dos ruídos de impacto nas amostras de PET



Fonte: CARVALHO (2009).

Na Figura 10 pode ser analisada a eficiência da utilização do PET quando comparado com o revestimento de cerâmica popular. Notamos também que todos os traços se encontram com suas medições abaixo da cerâmica popular, comprovando a eficiência dos ensaios e do uso do PET como isolante acústico.

Figura 10 - Comparação das amostras de PET com cerâmica popular



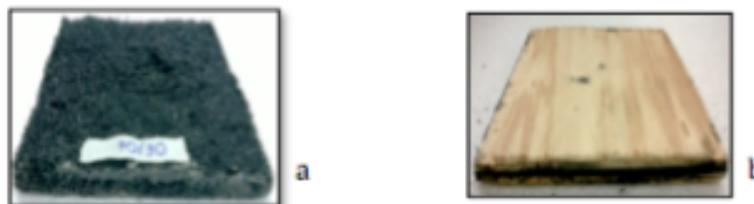
Fonte: CARVALHO (2009).

### 2.3.3 Borracha

Lima et al. (2014), em seus estudos, utilizaram dois corpos de prova, conforme apresentados na Figura 11, sendo eles: uma placa de compósito com dimensões de 20cmx20cmx1cm e uma outra em forma de “sanduíche”, onde, ao compósito foram

coladas duas placas de compensado com dimensões de 20cmx20cmx0,4cm utilizando PVA para a realização da colagem, sendo que o PVA foi colocado na superfície do compensado de madeira que entrou em contato com o compósito.

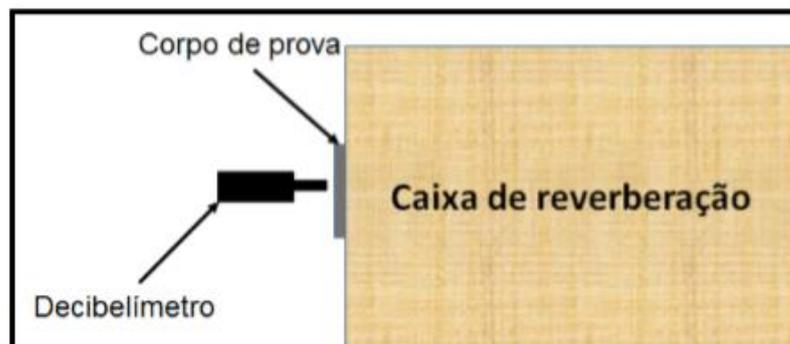
Figura 11 – Corpos de Prova: (a) borracha/PVA. (b) borracha/PVA/compensado



Fonte: LIMA ET AL. (2014).

Antes de iniciar os testes, Lima et al. (2014) acoplaram à janela da caixa o corpo de prova de acordo com a Figura 12, em sequência era acionado o alto-falante contido dentro da caixa reverberante. O som que atravessou o corpo de prova foi aferido, em dB, por um decibelímetro que foi colocado a uma distância de 1 cm do corpo de prova para obter dados apenas do som que atravessasse o corpo de prova.

Figura 12 – Teste realizado por Lima et al.



Fonte: LIMA ET AL. (2014).

Para realizar a fabricação dos compósitos, Lima et al. (2014) utilizam apenas as partículas que ficaram retidas nas peneiras de 14#, 20# e 35#, e adotaram as proporções mássicas de 90, 80 e 70% de farelo de borracha. A fabricação dos corpos de prova feitas estão apresentadas na Figura 13.

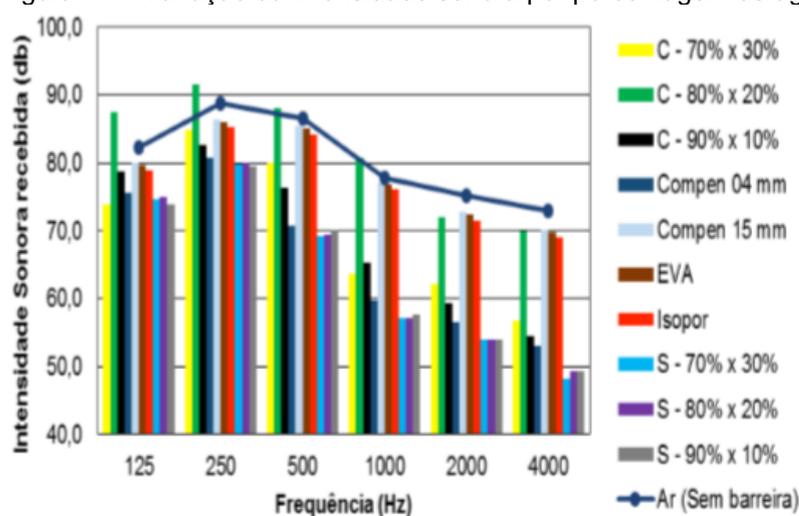
Figura 13 – Corpos de Prova de Lima et al.

Material	E1(mm)	E2(mm)	E3(mm)	E4(mm)	Em(mm)	L1(mm)	L2(mm)	L3(mm)	L4(mm)	Lm(mm)
S - 90% x 10%	13,0	13,0	13,5	13,5	13,3	196,5	195,5	197,0	195,5	196,1
S - 80% x 20%	13,0	12,5	14,0	14,0	13,4	196,0	196,5	196,5	197,0	196,5
S - 70% x 30%	12,5	12,0	13,5	13,0	12,8	197,5	196,5	197,5	196,5	197,0
C - 90% x 10%	13,5	14,5	13,5	12,5	13,5	197,0	201,0	199,0	197,5	198,6
C - 80% x 20%	15,0	15,5	14,0	12,0	14,1	198,5	199,5	199,0	197,5	198,6
C - 70% x 30%	11,0	13,0	12,5	10,0	11,6	197,0	197,0	197,0	196,5	196,9
EVA	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	202,0	198,0	201,0	199,0	200,0
Isopor	10,0	10,0	9,0	10,0	9,8	202,0	198,0	198,0	202,0	200,0
Compen 15 mm	15,0	14,0	15,0	15,0	14,8	202,0	200,0	199,0	200,0	200,3
Compen 04 mm	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	196,0	192,0	198,0	193,0	194,8

Fonte: LIMA ET AL. (2014).

Segundo Lima et al. (2014), entre os sanduíches, o corpo de prova 70x30 apresentou resultado ligeiramente melhor quando comparado com os demais. Na comparação direta com o EVA, o Sanduíche 70x30, apresentou capacidade 50% maior de absorção do som emitido, confirmando suas capacidades de isolamento acústico. Na Figura 14 se observa a variação da intensidade sonora tendo como referência a resistência do ar, mostrando que os sanduíches absorvem cerca de seis vezes mais do que os corpos de prova sem o compensado. Os resultados obtidos por Lima et al. (2014) mostram que, dentre os corpos de provas fabricados, o que continha compensado e 70% de borracha apresentou o melhor resultado.

Figura 14 – Variação da intensidade sonora por porcentagem de agregado



Fonte: LIMA ET AL. (2014).

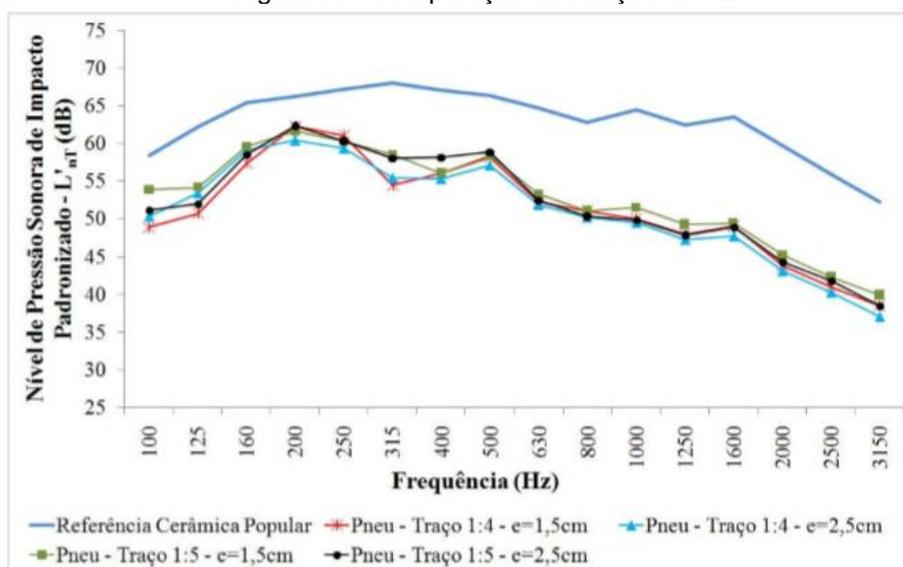
Poll (2009) por sua vez, realizou 10 ensaios de amostras utilizando pneus e esses ensaios foram realizados com painéis de 30 e 50mm, respectivamente. Com isso, ele destaca que o aumento do isolamento se torna significativo a partir da completa vedação e estanqueidade do conjunto pela utilização de argamassa de

assentamento e rejunte dos painéis resultando num ganho de 15 dB. Ressalta ainda que o revestimento interno com lambris de pinus melhorou ainda mais o isolamento, adicionando uma melhoria de 4 dB, comprovando a importância da camada de ar criada entre o lambril de madeira e o painel.

Destaca ainda o ganho de 1 dB da parede com placas de 50 mm em relação as placas de 30 mm, que a colocação da janela comprometeu novamente o isolamento do conjunto e que a introdução de revestimento de lambris de madeira contribui significativamente para o isolamento acústico do conjunto. Concluindo que a performance acústica das placas é excelente considerando a espessura, mostrando que, além de econômico e ecologicamente correto, possui características de isolamento acústico bastante satisfatórias.

Carvalho (2009) além de testar o uso de PET em seus traços, também utilizou pneus para estudo. Os traços se mantiveram de 1:4 e 1:5 para as amostras, obtendo valores inferiores ao utilizado para referência, cerâmica popular, demonstrando a eficiência do uso da borracha frente ao isolamento do ruído de impacto, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Comparação dos traços de PET

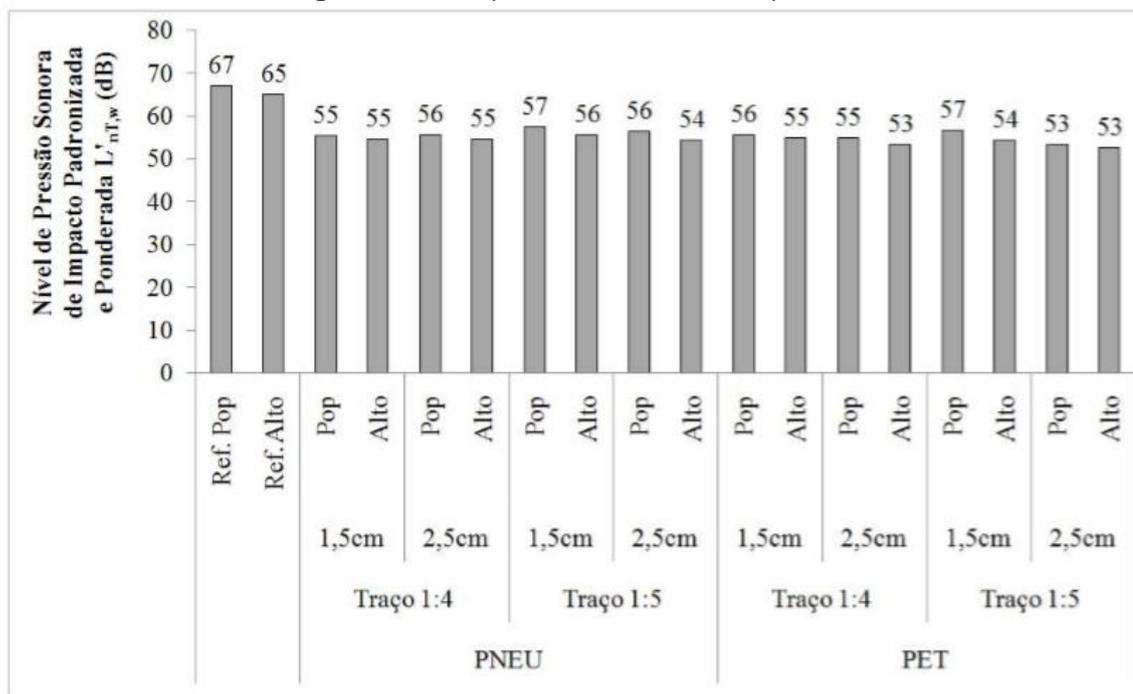


Fonte: CARVALHO (2009).

Carvalho (2009), em seu estudo, comparou também o uso de PET e Pneu, apresentado na Figura 16, onde ficou evidente que as amostras com o resíduo de PET apresentam isolamento superior as demais. Segundo Carvalho (2009), a amostra de pet no traço de 1:5, contrapiso de cerâmica popular e espessura de 2,5 cm teve o

mesmo resultado no traço de 1:4, contrapiso de cerâmica de alto padrão e espessura de 2,5 cm, evidenciando que um bom isolamento do ruído de impacto pode ser alcançado mesmo com revestimentos de baixo custo, ou seja, a qualidade de vida também pode ser acessível as classes de baixa renda.

Figura 16 – Comparativo de Pet e Pneu por Carvalho



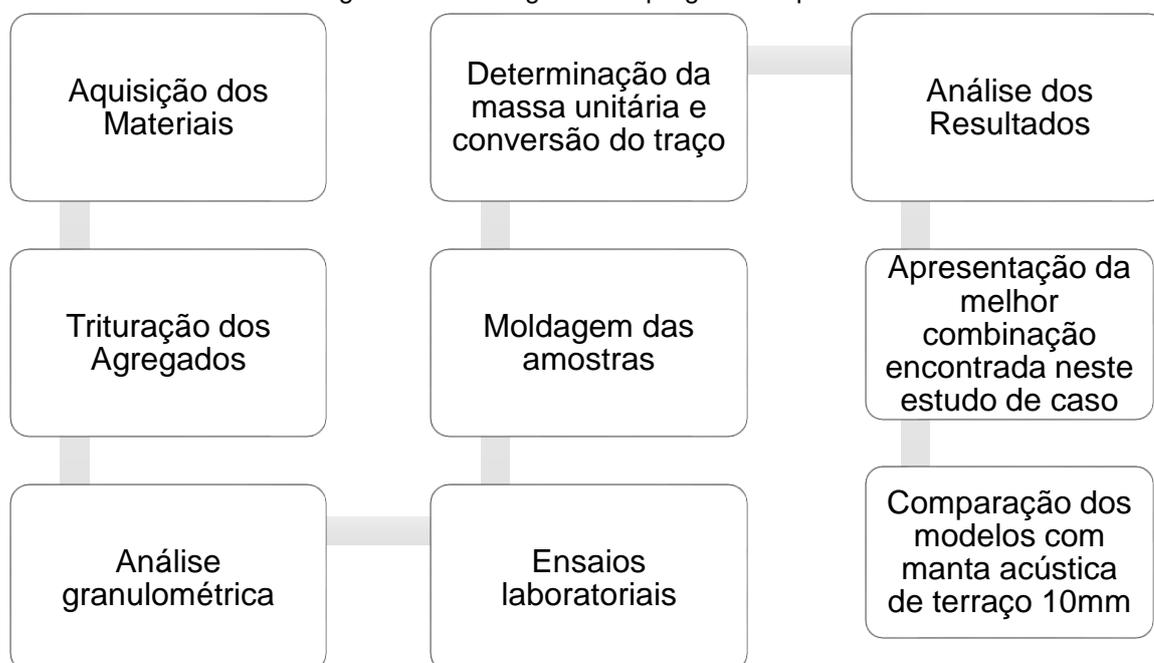
Fonte: CARVALHO (2009).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão destacados os materiais utilizados para desenvolver a presente pesquisa, bem como os métodos empregados. Aqui estão apresentadas todas as etapas realizadas para o estudo do isolamento acústico de ruído de impacto por meio de contrapisos leves com placas cimentícias estilo sanduíche.

Em primeiro momento, é feita a caracterização dos materiais e descrito a composição granulométrica dos agregados. Após, explica-se a confecção das placas e apresenta-se os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais. Na Figura 17 está apresentado o fluxograma do programa experimental de estudo.

Figura 17 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: AUTOR (2021).

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para a execução dos modelos se utilizou resíduos de PET, modelo flake moído, oriundos da reciclagem de materiais plásticos de uma empresa local. Utilizou-se também resíduos de EVA, descartados da indústria calçadista em forma de aparas, e borracha de pneu, ambas disponibilizadas pelo Laboratório de Tecnologia Construtiva (LBTEC) da Universidade de Caxias do Sul. Os materiais utilizados estão apresentados na Figura 18.

Figura 18 - Materiais utilizados como agregado miúdo



Fonte: AUTOR (2021).

### 3.2 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS

A composição granulométrica dos materiais foi obtida por meio do processo de peneiramento de uma amostra de cada agregado, seguindo o previsto na NBR NM 248 (ABNT, 2003). A aparelhagem necessária nessa etapa foi uma balança de alta precisão para pesagem da massa da amostragem já seca, dispensando o uso de estufa, e um conjunto de peneiras com aberturas de malhas que variam de 9,5mm à 150 $\mu$ m, que se enquadram nas séries normal e intermediária, conforme a série de peneiras da tabela 1 da norma, apresentada na Figura 19.

Figura 19 – Classificação das séries de peneiras

Tabla 1 / Tabela 1  
Serie de tamices / Série de peneiras

Serie Normal / Série Normal	Serie Intermedia / Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
--	31,5 mm
--	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 $\mu$ m	-
300 $\mu$ m	-
150 $\mu$ m	-

Fonte: ABNT (2003).

Inicialmente foram pesadas as amostragens de cada agregado. Optou-se por utilizar 100g de EVA, 200,02g de PET, 200g de borracha e 500g de areia, para facilitar a realização do ensaio devido a diferença de massa unitária de cada um deles. A pesagem dos materiais está apresentada na Figura 20.

Figura 20 – Pesagem dos materiais para caracterização dos agregados



Fonte: AUTOR (2021).

As peneiras previamente limpas foram encaixadas e empilhadas com abertura da malha organizada de forma crescente, do fundo ao topo, conforme apresentado na Figura 21. A amostra foi despejada sobre a peneira superior e, tampando o conjunto de peneiras, foi agitada de forma manual, com movimentos laterais e circulares, por aproximadamente três minutos

Figura 21 – Empilhamento das peneiras para caracterização dos agregados



Fonte: AUTOR (2021).

. Posteriormente, foi retirada a peneira superior e agitada manualmente, também com tampa e fundo, por mais um minuto. O material retido na peneira foi pesado em uma balança de alta precisão e o que passou da peneira para o fundo foi despejado na peneira de abertura imediatamente inferior. O processo se repetiu até todas as peneiras do conjunto serem agitadas e pesados seus materiais retidos.

Com a quantidade da massa retida em cada peneira, foram calculadas as porcentagens médias, retidas e acumuladas. Com esses resultados foi determinado do módulo de finura e da dimensão máxima característica da amostra.

De acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), a dimensão máxima característica, também chamada de diâmetro máximo do agregado, corresponde à

abertura nominal da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada menor ou igual a 5% da massa total da amostra. O módulo de finura, por sua vez, representa a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

As porcentagens de material fixadas em cada peneira para o agregado EVA, encontram-se apresentadas na Tabela 1. Notamos que a peneira de 9,5mm é a que contém a porcentagem retida acumulada menor que 5%, sendo, portanto, essa a dimensão máxima característica da amostra.

Tabela 1 – Porcentagem de EVA retido e acumulado por peneira

PENEIRAS				Quantidade retida (g)	% retido	% acumulado
ASTM USS / ABNT	mm	Tyler/mesh		(100g de EVA)		
3/8"	9,5	-		1,67	2	2
1/4"	6,3	-		36,84	37	39
4	4,75	4		34,24	34	73
8	2,36	8		23,08	23	96
16	1,19	14		3,28	3	99
30	0,6	28		0,34	0	99
50	0,297	48		-	-	-
100	0,15	100		-	-	-
	Fundo			0,55	1	100

Fonte: AUTOR (2021).

O cálculo do módulo de finura, no entanto, somou-se todas as porcentagens acumuladas excluindo apenas o valor da peneira de 6,3mm, que se refere à série intermediária, e dividiu-se por 100. Para o EVA o valor encontrado foi de 3,69mm e o cálculo encontra-se apresentado na equação abaixo.

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{2 + 39 + 73 + 96 + 99 + 99 + 100}{100} = 4,69$$

Para o PET, podemos analisar que a peneira de 9,5mm é a que contém a porcentagem retida acumulada menor que 5%, sendo, portanto, essa a dimensão máxima característica da amostra. O módulo de finura foi calculado da mesma forma que para o EVA e, nesse caso, encontrou-se o valor de 6,2mm. A quantidade de material retida em cada peneira e suas devidas porcentagens encontram-se apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Porcentagem de PET retido e acumulado por peneira

PENEIRAS			PET (200,02g)	% retido	% acumulado
ASTM USS / ABNT	mm	Tyler/mesh			
3/8"	9,5	-	0,1	0	0
1/4"	6,3	-	18,92	9	9
4	4,75	4	60,38	30	39
8	2,36	8	94,95	47	86
16	1,19	14	23,52	12	98
30	0,6	28	1,05	1	99
50	0,297	48	0,08	0	99
100	0,15	100	0,07	0	99
Fundo			0,95	1	100

Fonte: AUTOR (2021).

A borracha de pneu, por sua vez, possui dimensão máxima característica de 2,36mm, sendo essa a peneira que contém a porcentagem de material retido acumulado menor que 5%. O módulo de finura ficou estabelecido no valor de 3,34mm, seguindo o mesmo método de cálculo dos materiais anteriores. Os valores dos materiais retidos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Porcentagem de Borracha retida e acumulada por peneira

PENEIRAS			Borracha (200g)	% retido	% acumulado
ASTM USS / ABNT	mm	Tyler/mesh			
3/8"	9,5	-	-	-	-
1/4"	6,3	-	-	-	-
4	4,75	4	0,44	0	0
8	2,36	8	6,24	3	3
16	1,19	14	6,59	3	6
30	0,6	28	59,84	30	36
50	0,297	48	110,36	55	91
100	0,15	100	14,06	7	98
Fundo			2,47	2	100

Fonte: AUTOR (2021).

Ao analisarmos as informações da areia de rio utilizada como agregado, notamos grande similaridade com os dados encontrados para a borracha, conforme apresentado na Tabela 4. A dimensão máxima característica permanece a mesma, 2,36mm, e o módulo de finura diminui um pouco, resultando no valor de 3,27mm.

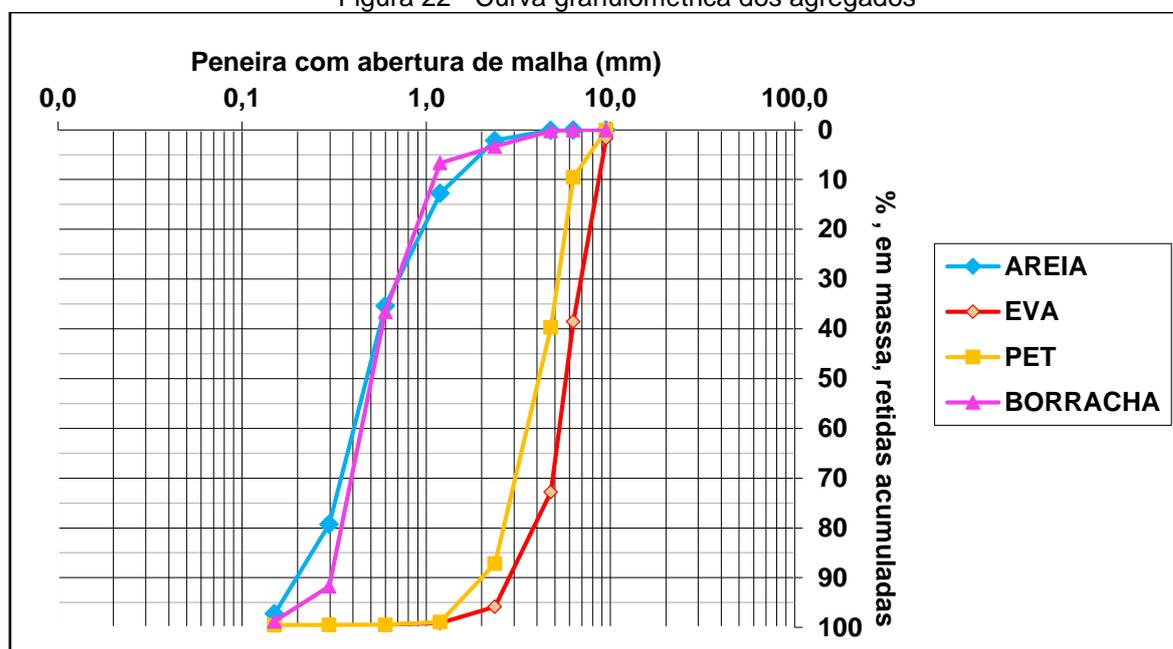
Tabela 4 - Porcentagem de areia retida e acumulada por peneira

PENEIRAS			Areia (500g)	% retido	% acumulado
ASTM USS / ABNT	mm	Tyler/mesh			
3/8"	9,5	-	-	-	-
1/4"	6,3	-	-	-	-
4	4,75	4	0,39	0	0
8	2,36	8	10,29	2	2
16	1,19	14	52,98	11	13
30	0,6	28	113,37	23	36
50	0,297	48	219,25	43	79
100	0,15	100	89,91	18	97
Fundo			13,81	3	100

Fonte: AUTOR (2021).

De acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) a curva granulométrica representa as porcentagens retidas acumuladas em cada peneira em relação a sua malha. As curvas granulométricas dos agregados utilizados estão apresentadas na Figura 22.

Figura 22 - Curva granulométrica dos agregados



Fonte: AUTOR (2021).

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019), os grãos do agregado miúdo passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira de 150 $\mu$ m. Já no agregado graúdo, seus grãos passam pela peneira de abertura

152mm e ficam retidos na peneira de 4,7mm. Com isso podemos dizer que o EVA e o PET são agregados graúdos e a borracha de pneu e areia agregados miúdos.

### 3.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

Para conversão do traço de massa para volume, primeiro precisa ter o conhecimento da massa unitária dos agregados utilizados. De acordo com a NBR 16972 (ABNT, 2021), massa unitária é relação entre a massa do agregado lançado em um determinado recipiente e o volume desse.

Conforme prescrito no Método C da norma, o cálculo da massa unitária de material no estado solto foi feito da seguinte maneira: Foi tarado o peso da balança de precisão com o recipiente vazio e, em seguida, se encheu o recipiente até que o mesmo transbordasse, nivelando a camada superficial do agregado com uma régua e determinando a massa do conteúdo por meio de uma pesagem de cada amostra.

A massa encontrada para os materiais de EVA, PET, borracha e areia de rio foram, respectivamente, 1040, 4010, 4110 e 18500 gramas. Sabendo que o volume do recipiente era de 12000 cm<sup>3</sup>, o cálculo da massa unitária foi feito seguindo a equação:

$$\rho_{ap} = \frac{M}{V}$$

Onde:

$\rho_{ap}$  = massa unitária do agregado, em g/cm<sup>3</sup>;

M = massa do conteúdo, em g;

V = volume do recipiente, em cm<sup>3</sup>.

Ao aplicarmos os valores na equação encontramos, respectivamente, para o valor da massa específica do EVA, PET, borracha de pneu e areia, o resultado de: 0,0867, 0,334, 0,3425 e 1,542g/cm<sup>3</sup>. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - massa unitária dos agregados

Massa do agregado (g)	Volume do recipiente (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
EVA = 1040		0,087
PET = 4010	12000	0,334
BORRACHA = 4110		0,343
AREIA = 18500		1,542

Fonte: AUTOR (2021).

### 3.4 CONVERSÃO DO TRAÇO VOLUME PARA MASSA

Para saber a quantidade de cada material que constituiria as placas, definiu-se o traço do mesmo com base em estudos realizados anteriormente com os mesmos agregados em outras situações. Para uma melhor comparação adotou-se o mesmo traço, mesma relação água/cimento e as mesmas porcentagens dos compósitos para todos os corpos de prova.

Levando em consideração o bom desempenho apresentado por Silva Júnior (2007), Santos (2013) e Carvalho (2009), o traço escolhido, em volume, para a presente análise foi o de 1:5 (aglomerante: agregado miúdo). Para a porcentagem dos agregados, tomou-se como base o estudo de Lima et. al. (2014) que utiliza 70% do material reciclado e 30% de areia de rio.

Conhecendo a massa unitária dos agregados e sabendo que o consumo cimento apresentado por Garlet (1998) para o traço analisado é de 295 kg/m<sup>3</sup>, foi feita a conversão do traço de volume para peso. Como o sistema de contrapiso adotado no presente estudo foi o “sanduíche”, a espessura das placas ficou estipulada em 2,5cm, buscando uma estrutura nem tão espessa e também não muito pesada. Tendo em vista que amostra utilizada para simular o piso de madeira possui as dimensões de 1mx1m, se adotou essa área também para a criação dos modelos, sendo necessário, portanto, 0,025m<sup>3</sup> de volume para a placa cimentícia.

Para evitar que faltasse material, converteu-se o traço para peso considerando 0,03m<sup>3</sup> de volume. Com base no referencial teórico, o traço escolhido é 1:5 e a porcentagem de materiais 70% agregado reciclado e 30% areia de rio para cada amostra. A tabela 6 apresenta o consumo de materiais utilizados.

Tabela 6 – Consumo detalhado dos materiais

Traço 1:5		Consumo de cimento: 295 kg/m <sup>3</sup>	Volume de material fabricado: 0,3m <sup>3</sup>	
Cimento (kg)	Resíduo (kg)		Areia (kg)	Água
8,85	EVA= 0,94 PET= 3,63 Borracha= 3,72		7,18	0,5 -Ajustado conforme trabalhabilidade

Fonte: AUTOR (2021)

### 3.5 CONFECÇÃO DAS PLACAS CIMENTÍCIAS

Depois de pesados todos os materiais, iniciou-se o processo de confecção dos corpos de prova. As placas criadas para os ensaios seguiram a ideia de Lima et al. (2014), aderindo a proposta do “sanduíche”. Duas placas de madeira Jatobá as dimensões de 100cm x 100cm x 1,7cm, com a finalidade de imitar um piso para estudo de caso real, foram encaixadas nas placas cimentícias confeccionadas para tal.

Com o auxílio de uma betoneira, foram misturados os materiais. Primeiramente se colocou o resíduo de agregado (EVA, PET ou borracha de pneu) com metade da água, agitando por um minuto. Logo após, foi adicionado o cimento e misturado por mais um minuto. Depois, se colocou a areia e o restante de água, movimentando a betoneira por mais três minutos. A quantidade de água foi ajustada até atingir a trabalhabilidade desejada, utilizando no total 2,8 litros para cada placa.

Com a mistura pronta, despejou-se a argamassa no carrinho para posterior moldagem nas formas. A mistura foi reguada e compactada manualmente. Na Figura 23 podemos ver as placas prontas, sendo a superior esquerda a de borracha de pneu, a superior direita a de EVA e a inferior à de PET.

Figura 23 – Placas confeccionadas para a realização dos ensaios



Fonte: AUTOR (2021).

Feito isso, foi aguardado 15 dias para realização dos ensaios de ruído de impacto para que as placas atingissem melhor resistência. Dado o prazo, ao transportar as placas para o local de ensaio, protótipo localizado no LBTEC, Campus das Artes e Arquitetura da Universidade de Caxias, foi notado que a placa cimentícia produzida com resíduo de borracha de pneu havia trincado, conforme apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Placa cimentícia de borracha de pneu



Fonte: AUTOR (2021).

Ao pegar o pedaço deslocado na mão, o mesmo acabou se desmembrando e esfarelando, conforme demonstrado na Figura 25. Tal fato acabou por inutilizar essa placa nos ensaios. Não foi feito corpo de prova para verificar a resistência da argamassa, nem havia material disponível para confecção de uma nova, ficando, portanto, com apenas duas amostragens. Acredita-se que isso tenha acontecido devido à similaridade do diâmetro máximo característico e módulo de finura dos agregados de borracha de pneu e areia de rio e testar uma confecção desse modelo com porcentagem de 50/50 poderia melhorar a resistência da mesma.

Figura 25 - segregação da placa cimentícia de PET



Fonte: AUTOR (2021).

O protótipo disponibilizado pelo LBTEC tem sua estrutura composta por dois pavimentos edificados em blocos de concreto com 14cm de espessura e revestidos por argamassa. Os pavimentos são divididos por uma laje treliçada de 10cm de espessura e a cobertura da edificação é feita por uma laje treliçada com EPS e espessura de 17cm. Todas as aberturas do local são de PVC. O primeiro pavimento, que também pode ser chamado de sala receptora, possui as seguintes medidas internas: 2,5 m de largura, 5 m de comprimento e  $34\text{m}^3$  de volume. O segundo pavimento, por sua vez, é chamado de sala emissora e possui a mesma metragem. Na figura 26 está apresentado um croqui do protótipo.

Figura 26 - Protótipo disponibilizado pelo LBTEC



Fonte: Pontalti (2014)

Na sala emissora do protótipo, as placas cimentícias foram encaixadas entre duas placas de madeira jatobá, para a criação do efeito “sanduíche”. Um dos modelos de corpo de prova produzido está apresentado na Figura 27.

Figura 27 - Contrapiso estilo "sanduíche" criado com as placas cimentícias



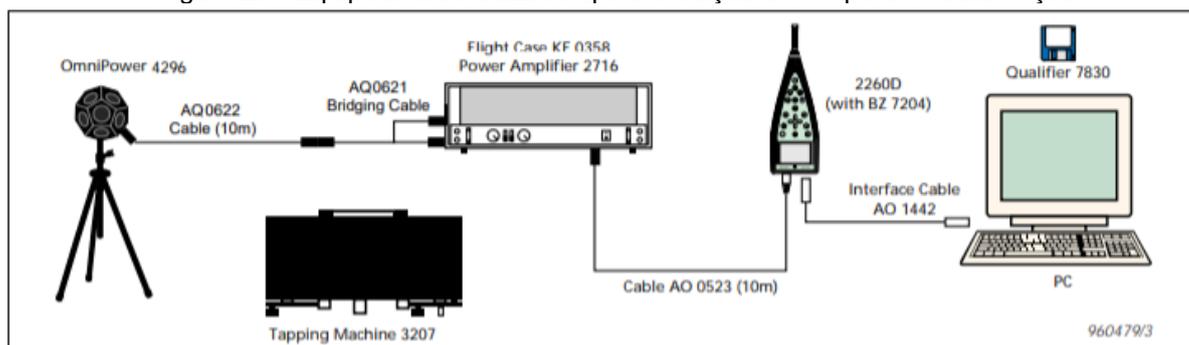
Fonte: AUTOR (2021).

### 3.6 MÉTODO DE ENSAIO

Os ensaios aconteceram no protótipo do LBTEC e foram realizados seguindo as prescrições previstas na ISO 16283-2:2020 para a obtenção do nível de ruído de impacto padronizado ponderado ( $L'_{nT,w}$ ). Nesse ensaio, uma máquina de impacto padronizado aplica golpes sobre o sistema de piso analisado e a medição sonora é feita com o auxílio de um microfone.

Em primeiro momento foi feita a calibração do microfone e medido o ruído de fundo e, na sequência, com o ambiente completamente fechado, a medição do ruído de fundo na câmara de recepção. Logo depois, com o ruído foi gerado pelo alto falante omnidirecional modelo omnipower 4296, da Brüel & Kjær, e captado pelo microfone, se realizou a medição do tempo de reverberação. Na Figura 28 estão apresentados os equipamentos utilizados nesse processo.

Figura 28 - Equipamentos utilizados para medição do tempo de reverberação



Fonte: Brüel & Kjær (2021)

O alto falante foi reposicionado duas vezes e feita três leituras com o microfone para cada posição do alto falante. A localização do autofalante foi disposta conforme apresentado na Figura 29.

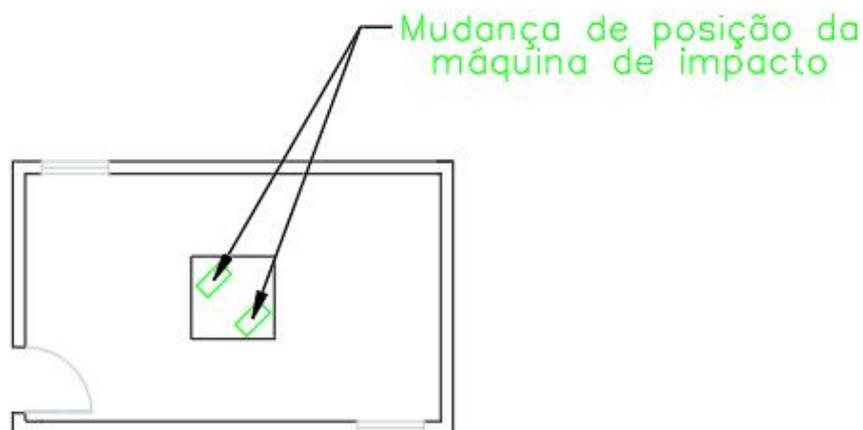
Figura 29 - Disposição do autofalante no protótipo do LBTEC



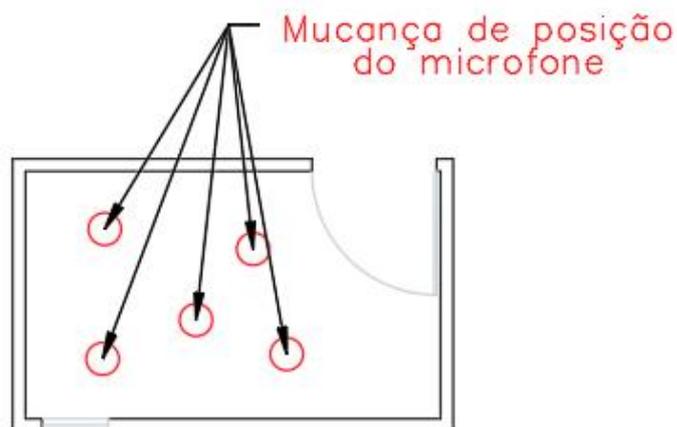
Fonte: AUTOR (2021).

Conhecendo o tempo de reverberação e o ruído de fundo, se iniciou o ensaio. No pavimento abaixo da laje ensaiada, a sala de recepção, foi posicionado o microfone com a finalidade de captar a pressão sonora que atravessava para o ambiente. Paralelo a isso, no piso superior, sala emissora, a máquina de impacto foi disposta em duas posições diferentes, com angulação de 45°, sobre o piso a ser ensaiado, conforme apresentado na Figura 30.

Figura 30 - Planta baixa de locação da máquina de impacto e do microfone



Planta baixa 2º pavimento



Planta baixa 1º pavimento – Térreo

Fonte: AUTOR (2021).

Em cada posição da máquina de impacto foram realizadas cinco leituras com o microfone. Cada medição foi realizada com o microfone em posição diferente, conforme solicitado pela ISO 16183-2:2020. As relocações do microfone atenderam as distâncias mínimas de 70cm entre as posições do microfone, 50cm dos limites da sala e 1,0m entre qualquer posição fixa do microfone e a fonte sonora, distribuídas uniformemente dentro do ambiente de medição.

Essa metodologia foi empregada quatro vezes, sendo a primeira somente para o piso de madeira, a segunda para o “sanduíche” de EVA, a terceira para o “sanduíche” de PET e, na última vez, para o “sanduíche” da manta de 10mm. A pressão captada pelo microfone foi repassada para o software de análise de dados, que os transforma em gráficos de pressão sonora em função da frequência de onda.

Com o ensaio realizado e o gráfico plotado pelo software, verificamos a pressão sonora lida por terças de oitavas, em decibéis, nas diferentes faixas de frequência do ruído de impacto captado pelo microfone, que inicia em 100Hz e termina em 3,15kHz. Para conseguirmos enquadrar os resultados com os níveis de desempenho determinados pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013), o software obtém o  $L'_{nT,w}$ , ponderando os valores do nível de pressão sonora de impacto padronizado ( $L'_{nT}$ ), conforme descrito pela ISO 717-2:2020, adotando para  $L'_{nT,w}$  o valor obtido na frequência de 500Hz quando ajustados os resultados à curva padrão, ou seja, deslocando-os em direção à curva medida.

Os resultados são analisados de modo a identificar o desempenho acústico do sistema de piso da edificação em questão, verificando se existe o atendimento do mesmo para os critérios estabelecidos na norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), que delimita os requisitos de decibéis para classifica-los como mínimo, intermediário ou superior. O critério do nível de desempenho da pressão sonora de impacto padrão padronizado está apresentado na Figura 31.

Figura 31 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

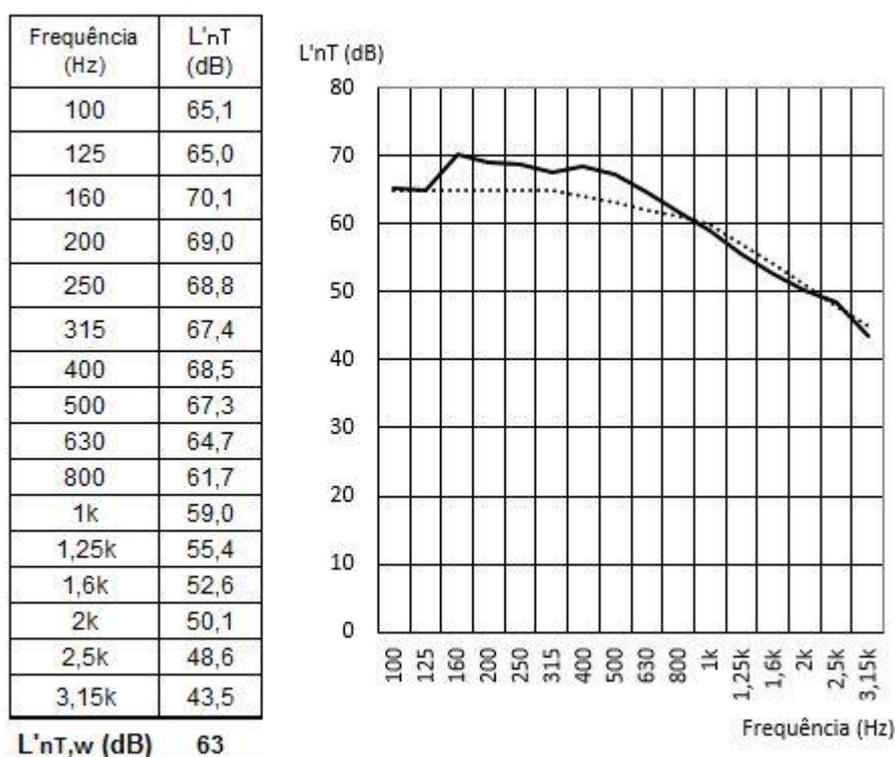
Fonte: ABNT (2013).

#### 4. RESULTADOS

No primeiro ensaio realizado foi testado apenas o piso de madeira jatobá com espessura aproximada de 1,7cm, simulando o piso da madeira de uma edificação existente. Essa medição foi feita para saber a eficácia do uso da placa cimentícia criada com mais uma camada de madeira, formando o conhecido contrapiso “sanduíche”.

A medição do piso com uma camada de madeira alcançou um nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ) de 63dB, classificado o mesmo como intermediário de acordo com a NBR 15575-3 (ABNT, 2013). O gráfico gerado está apresentado na Figura 32.

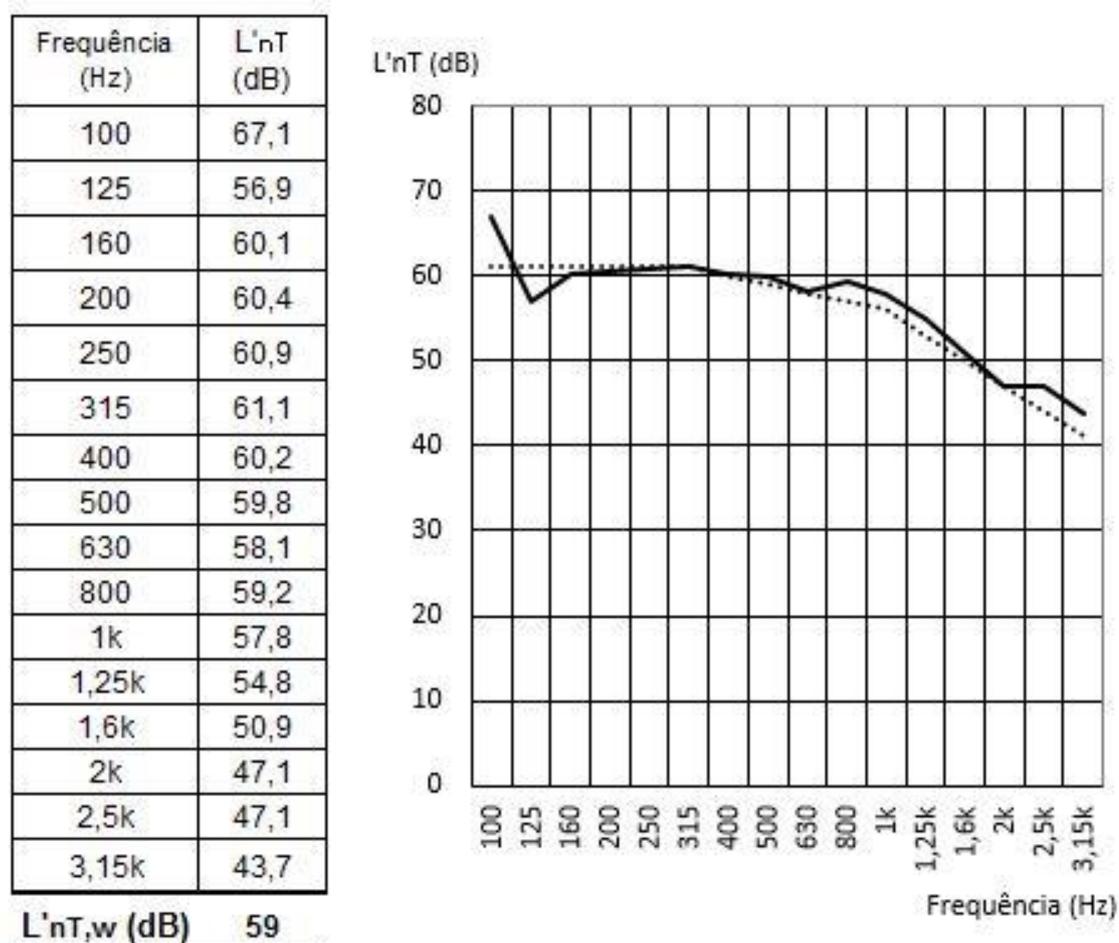
Figura 32 - Resultados obtidos para o piso de madeira



Fonte: AUTOR (2021).

Após essa medição do piso de madeira, foram analisados os “sanduíches” de EVA e PET, respectivamente. No sistema que utilizou EVA como agregado, obteve-se um  $L'_{nT,w}$  de 59 dB, reduzindo em 4dB o ruído de impacto quando comparado ao piso de madeira convencional estudado, mas ainda se enquadrando no desempenho intermediário. Na Figura 33 podemos analisar o gráfico para este tipo de contrapiso.

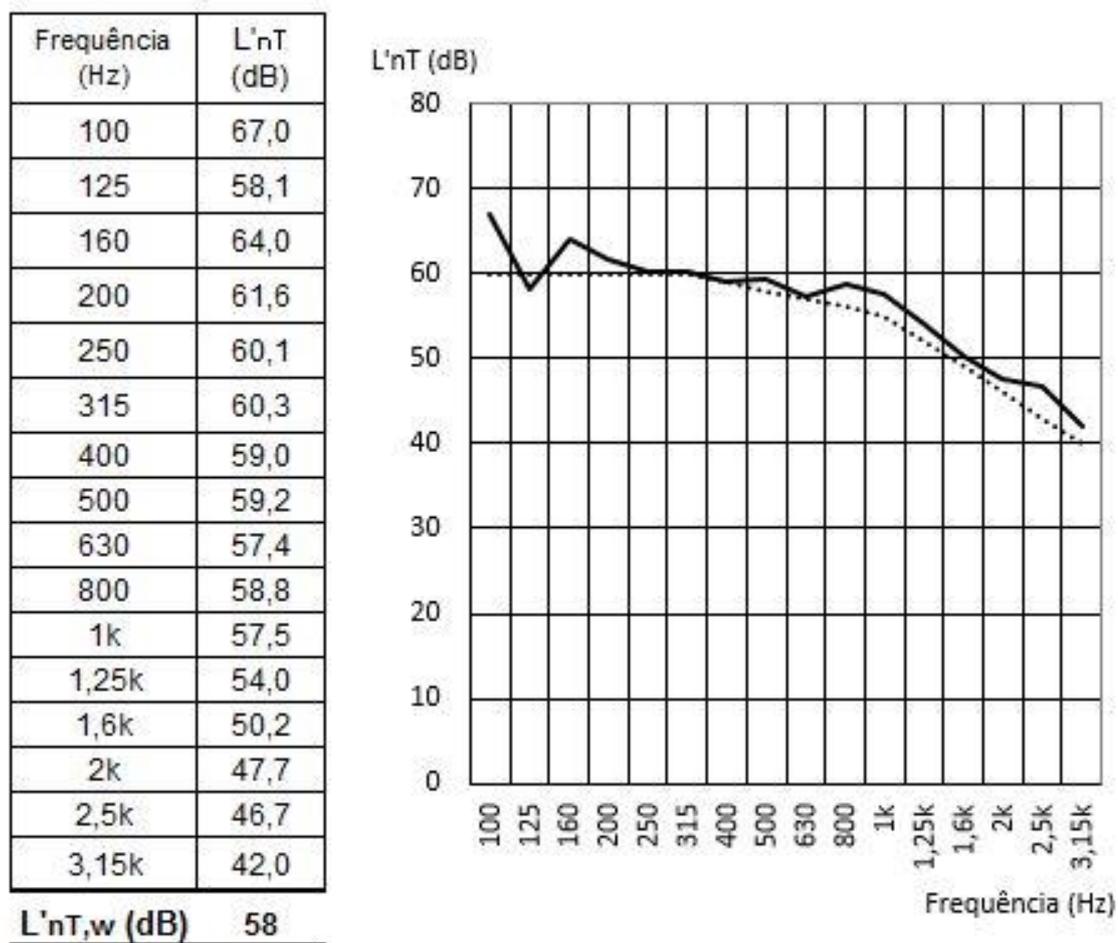
Figura 33 - Resultados obtidos para o contrapiso "sanduíche" de EVA



Fonte: AUTOR (2021).

O contrapiso feito com PET, por sua vez, chegou em um  $L'nT,w$  de 58 dB, 1dB mais eficaz que o de EVA, reduzindo, portanto, 5dB quando comparado ao piso de madeira. O resultado encontrado no ensaio do PET está demonstrado na Figura 34.

Figura 34 - Resultados obtidos para o contrapiso "sanduíche" com PET



Fonte: AUTOR (2021).

Para comprovar a eficácia dos contrapisos "sanduíche" testados, os resultados foram comparados com um novo teste realizado utilizando a manta acústica de 10mm da marca ebios, disponibilizada pelo LBTEC. A manta utilizada está apresentada na Figura 35.

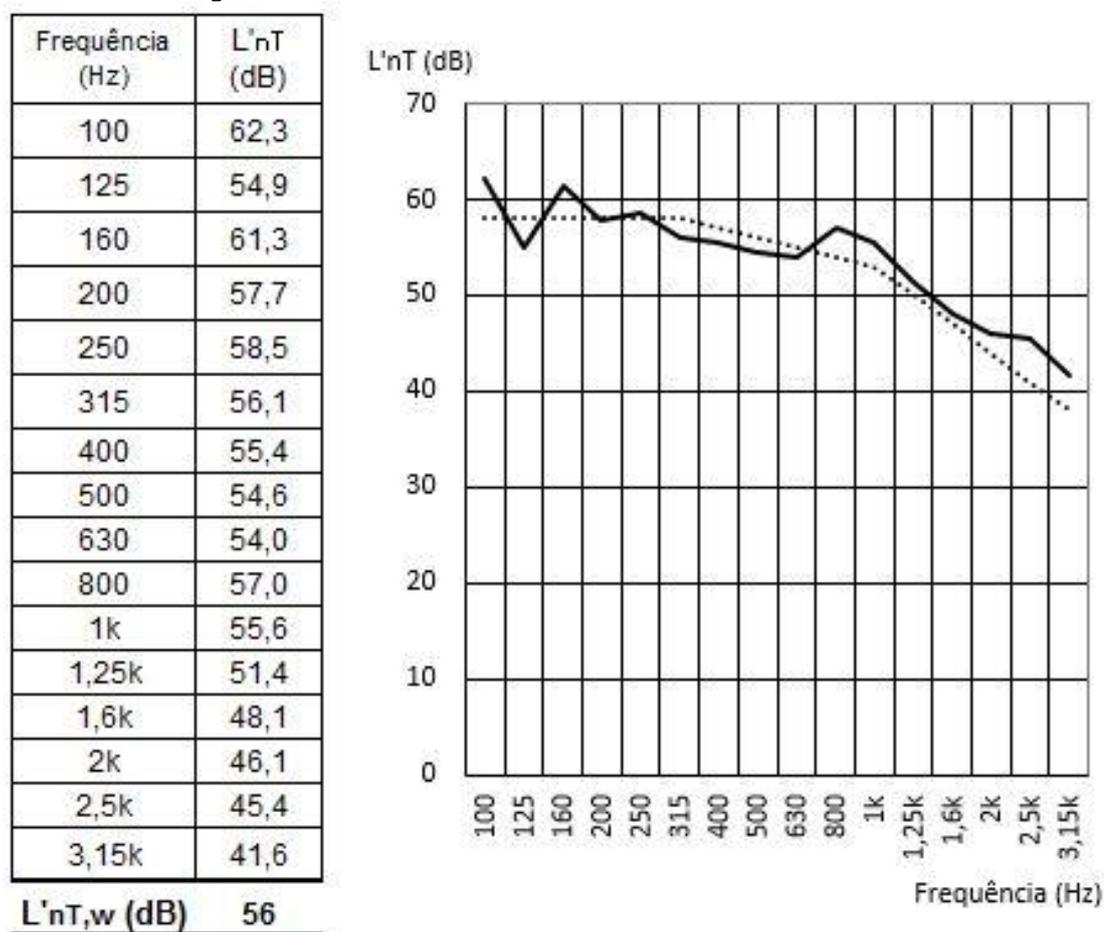
Figura 35 - Manta terraço 10mm - Ebios



Fonte: AUTOR (2021).

Ao utilizar esse material em “sanduíche” com as madeiras, seguindo a ideia das placas cimentícias, obteve-se um resultado um  $L'_{nT,w}$  de 56 dB, apresentado na Figura 36. Quando comparado ao piso de madeira, temos uma redução de 7dB, já quando comparado ao sanduíche de PET a redução do ruído de impacto é de apenas 2dB, mostrando que o contrapiso estudado é eficiente quando comparado aos isolantes acústicos presentes no mercado.

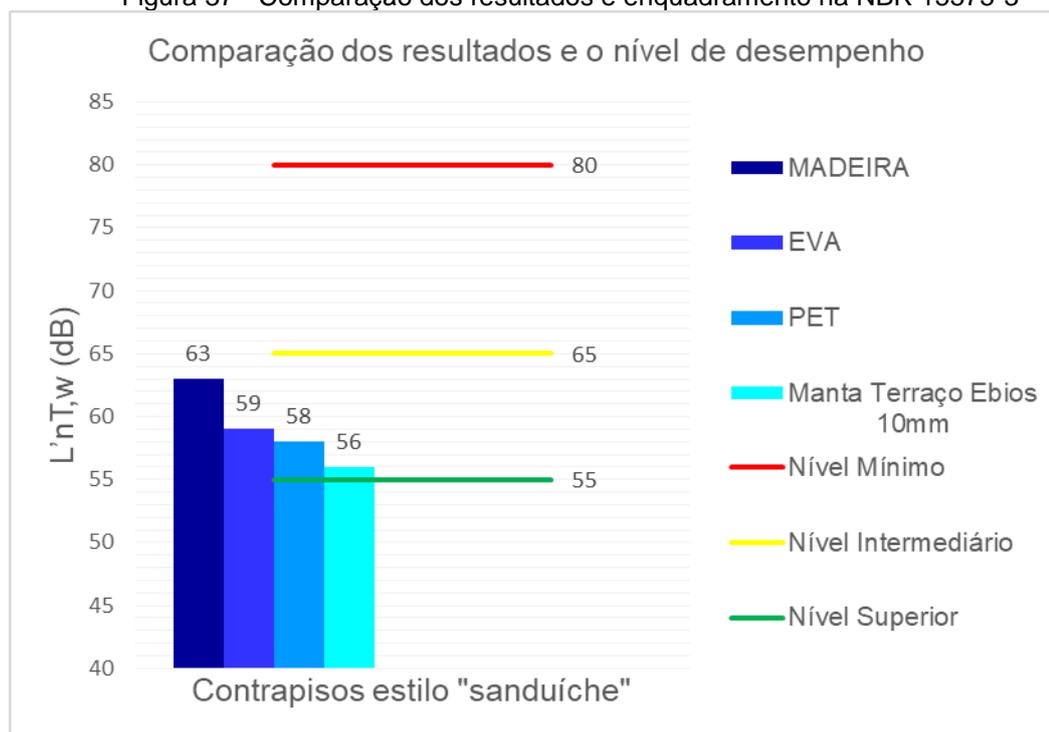
Figura 36 - Resultados obtidos com a manta em estilo "sanduíche"



Fonte: AUTOR (2021).

Analisando de forma comparativa os sistemas de contrapisos sanduíche ensaiados, observamos que todos atendem ao requisito intermediário de desempenho acústico de piso da NBR 15575-3 (ABNT, 2013). Na Figura 37 está a comparação entre o desempenho acústico dos materiais ensaiados.

Figura 37 - Comparação dos resultados e enquadramento na NBR 15575-3



Fonte: AUTOR (2021).

Vale ressaltar que, para aplicação em caso real, precisamos de uma avaliação estrutural mais aprofundada da edificação. Contudo, foram pesadas as placas cimentícias criadas para aplicação das mesmas no futuro. A placa cimentícia de PET com espessura de 2,5cm resultou em um peso de 27,89 kg/m<sup>2</sup>. Já a placa de EVA ficou um pouco mais leve, totalizando 22,92 kg/m<sup>2</sup>. Caso na camada superior do "sanduíche" se escolha utilizar a madeira de jatobá para o piso, será acrescido mais 17 kg/m<sup>2</sup>. Cabe observar que os valores aqui encontrados não são absolutos e necessitam de mais testes para comprovar a eficácia.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Ao longo da graduação percebemos que busca por melhorar o desempenho das edificações está cada vez mais requisitada. Ao realizar os ensaios desses diferentes tipos de contrapiso leve estilo “sanduíche”, ficou evidente que a placa cimentícia de PET, apesar de ambos sistemas estarem atendendo o nível intermediário da norma de desempenho, apresentou resultado levemente melhor que a de EVA.

Os resultados encontrados mostram que o uso desses materiais pode reduzir a pressão sonora de impacto em até 5 dB quando comparados ao piso com uma camada de madeira jatobá, permitindo a melhora no isolamento, embora ambos permaneçam na mesma classificação. Ressalta-se ainda que, por ter sido confeccionado apenas um modelo de cada pela limitação de materiais, é necessário um estudo em maior escala para validação dos resultados encontrados.

Caso no futuro venha ser executado em uma edificação já existente, necessitará de uma análise estrutural para verificar se a estrutura suporta a sobrecarga do conjunto. A fim de aprofundar os estudos nesta área, deixa-se como sugestão para elaboração de futuros trabalhos:

Estudo sobre a viabilidade financeira e estrutural para a instalação desse contrapiso e a comparação de valores com produtos já comercializados no mercado;

Ensaio “in loco” com aplicação de modelos com dimensões reais em edificações já existentes;

Simulação computacional dos contrapisos estudados para comparação dos valores obtidos.

## BIBLIOGRAFIA

ACTIVE ACOUSTIC ENGINEERING SDN BHD. **Measure floor impact sound of a concrete floor in a testing room**. Disponível em: <<http://www.rion-malaysia.com/application/measure-floor-impact-sound-of-a-concrete-floor-in-a-testing-room/>>. Acesso em 07 de agosto de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211** – Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 12179** – Tratamento acústico em recintos fechados – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 15116** – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575** – Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 16972** – Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248** – Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BEZERRA, Alex Jussileno Viana. **Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA- Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural**. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. 2002.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 3 Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2018. 436 p.

BRAVO, Rafael Segantini. **Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim**. 63p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira - UNESP, São Paulo. 2014.

Brüel & Kjær (B&K). **Sound Sources for Building Acoustics OmniPower™ Sound Source**. Disponível em: < [https://www.atecorp.com/atecorp/media/pdfs/data-sheets/bruel-kjaer-4296\\_datasheet.pdf](https://www.atecorp.com/atecorp/media/pdfs/data-sheets/bruel-kjaer-4296_datasheet.pdf)>. Acesso em 16 de julho de 2021.

CARVALHO, Maria Luiza de Ulhôa. **Resíduos de Poli (Tereftalato de Etileno) e de Pneu na confecção de pisos flutuantes para o isolamento do ruído de impacto**. 110 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente). Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiás. 2009.

FAUTH, A. C.; FOLLE, C. C.; MARCHIORO, J.; PELIZZARO, A. P. 5º Seminário Internacional de Construções Sustentáveis e 2º Fórum de Desempenho das Edificações. 6 p. Passo Fundo, Rio Grande do Sul. 2016.

GARLET, Givanildo. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil**. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1998.

GOMES FILHO, Carlos Vicente. **Levantamento do potencial de Resíduos de Borracha no Brasil e Avaliação de sua Utilização na Indústria da Construção Civil**. 138p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Instituto de Engenharia do Paraná, Paraná. 2007.

GOMES, Manuel Morato. **Borracha de Acrilonitrilo Butadieno (NBR)**. Disponível em: <<http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-nitrilica.php>>. Acesso em: 05 de maio de 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-2: Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements — Part 2: Impact sound insulation**. ISSO 717, ISO/TC, 2020.

\_\_\_\_\_. **ISO 16283-2: Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 2: Impact sound insulation**, ISO 16283, ISO/TC, 2020.

LIMA, E. L. B. DIAS, L. M. M. OLIVEIRA, L. C. HALASZ, M. R. T. **Reutilização da Borracha proveniente da recauchutagem de pneus na confecção de placas**

**isolantes termo acústicas.** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014. Faculdades Integradas de Aracruz. Florianópolis, Santa Catarina. 2014.

PAIXÃO, Dinara Xavier da. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA).** 161 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina. 2002.

POLL, Benoine Josué. **Análise da isolação acústica em parede de habitação popular executada com resíduos de pneus.** 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2009.

PONTALTI, Daniel Vergani. **Influência de diferentes composições de sistemas de pisos no desempenho acústico em protótipos.** Estágio de Arquitetura e Urbanismo, 2014.

SAINT-GOBAIN ECOPHON AB. **Isolamento acústico de impacto.** Disponível em: <<https://www.ecophon.com/br/about-ecophon/acoustic-knowledge/sound-insulation/impact-sound-insulation/>>. Acesso em: 07 de agosto de 2021.

\_\_\_\_\_. **Isolamento entre salas.** Disponível em: <<https://www.ecophon.com/br/about-ecophon/acoustic-knowledge/sound-insulation/room-to-room-insulation2/>>. Acesso em: 07 de agosto de 2021.

SANTOS. Fabianne Azevedo dos. **Avaliação de placas com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de pisos flutuantes.** 129p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. 2013.

SERRANO, Pablo. **NBR 15575: como adequar o desempenho acústico de edificações.** Disponível em: < <http://portalacustica.info/nbr-15575-desempenho-acustico/>>. Acesso em 12 de maio de 2020.

SILVA JÚNIOR, Francisco Pereira da. **Determinação de coeficiente de absorção acústica em placas fabricadas com resíduos de E.V.A.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. 2007.

SILVA, H. R. T.; CAVALCANTE, B. M. M.; HOFFMANN, J. V. J.; EGERT, P.; MAGNAGO, R. F. **Estudo sobre a produção de placas de isolamento acústico com incorporação de aparas de EVA.** 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade de Santa Catarina, Santa Catarina. 2016.

VIÉGAS, Flávia Mendanha Saboia. **Avaliação e proposição de conforto sonoro para bares em áreas residenciais.** Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas, Brasília - DF. 2017.