

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VICTOR HUGO SCHRODER

**TRATAMENTO ACÚSTICO: PREVENÇÃO A RUÍDO DE IMPACTO EM LAJES E
RUÍDO AÉREO EM DRYWALL PARA EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES.**

CAMPO MOURÃO

2022

VICTOR HUGO SCHRODER

**TRATAMENTO ACÚSTICO: PREVENÇÃO A RUÍDO DE IMPACTO EM LAJES E
RUÍDO AÉREO EM DRYWALL PARA EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES.**

**acoustical treatment: slab impact noise and airborne noise prevention in
drywall for multi-family buildings.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Vera Lúcia Barradas Moreira.

CAMPO MOURÃO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

VICTOR HUGO SCHRODER

**TRATAMENTO ACÚSTICO: PREVENÇÃO A RUÍDO DE IMPACTO EM LAJES E
RUÍDO AÉREO EM DRYWALL PARA EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 13 de junho de 2022

Profa. Dra. Vera Lucia Barradas Moreira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profa. Dra Fabiana Goia Rosa de Oliveira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profa. Dra Jucélia Kuchla Vieira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2022

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por me guiar e me fortalecer um pouco mais a cada dia, nesses anos de estudos com muitos altos e baixos, e ainda me ajudando a passar por uma pandemia global sem que fosse infectado, o que me deu um animo a mais para encerrar o curso.

Agradeço também a toda minha família, em especial aos meus pais, Helder e Virginia, minha irmã Livia, e minha namorada Simone, além de todos os familiares que ao longo dessa caminhada me incentivaram, fortaleceram e me ajudaram a superar todas as barreiras, mesmo quando pensava em desistir, eles estavam ao meu lado, segurando minha mão, e com isso, fizeram com que eu conseguisse chegar até aqui.

Desejo agradecer também a todos os professores que cruzaram meu caminho nessa caminhada, principalmente a minha orientadora Vera, que além de me orientar, veio a se tornar uma grande amiga, às professoras Fabiana e Jucelia, pelos ensinamentos e pelos puxões de orelha.

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer a todos os amigos que fiz durante esses anos de faculdade, Solange, Pedro, Luís, Renan, Thiago, Gabriel e tantos outros que sempre me acompanharam e me ajudaram nas horas de estudo e estavam ao meu lado nas confraternizações, com certeza serão levados em meu coração para toda a vida.

RESUMO

Diante da necessidade de atender à crescente demanda da construção civil, aliada à intensa verticalização das edificações, a busca por um lugar de tranquilidade, em meio a constante poluição sonora da sociedade urbanizada, cresce a cada dia. Neste contexto, este estudo é focado na apresentação de materiais e métodos que podem ser utilizados tanto em lajes, quanto em paredes de edifícios habitacionais, com o objetivo de apresentar uma comparação entre os materiais isolantes. Para isso, serão descritas e analisadas as características de execução, orçamento e capacidade de absorção sonora, e a partir disso, apresentar quais os materiais mais vantajosos. Para a execução deste trabalho, foram utilizadas como fonte de pesquisa normas, artigos, e alguns referenciais de valores em sites de empresas especializadas, os quais serão referenciados no decorrer do estudo. Como conclusão, o material que apresentou o maior custo-benefício, dentre os analisados, foi a lã de vidro, pela sua qualidade na absorção sonora e seu custo atual.

Palavras-chave: isolamento; acústico; comparativo; laje; parede.

ABSTRACT

Given the need to meet the growing demand for civil construction, coupled with the intense verticalization of buildings, the search for a place of tranquility, amid the constant noise pollution of urbanized society, grows every day. In this context, this study is focused on the presentation of materials and methods that can be used both in slabs and walls of residential buildings, aiming to present a comparison between insulating materials. For this, the characteristics of execution, budget and sound absorption capacity will be described and analyzed, and from this, the most advantageous materials will be presented. For the execution of this work, norms, articles, and some reference values in specialized companies' websites were used as a source of research, which will be referenced throughout the study. As a conclusion, the material that presented the best cost-benefit, among those analyzed, was glass wool, for its quality in sound absorption and its current cost.

Keywords: insulation; acoustic; comparative; slab, wall.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Transmissão de ruído aéreo	17
Figura 2: Transmissão de ruído de impacto	18
Figura 3: Transmissão de ruído de impacto por um forro falso suspenso.....	22
Figura 4: Critério e níveis de desempenho, $L'_{nT,w}$, para ruídos de impactos em sistemas de pisos para salas e dormitórios.	25
Figura 5: Critério e nível de desempenho mínimo, $D_{nT,w}$, de isolamento a ruído aéreo de vedações internas.	26
Figura 6: Placa que obteve melhor resultado de eficiência acústica - Standard	34
Quadro 1: Níveis de pressão sonora	15
Quadro 2: Ranking custo-benefício	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Nível de pressão sonora de impacto ponderado (dB)	29
Tabela 2: Valor dos materiais por metro quadrado.....	30
Tabela 3: Resultado das medições com diferentes configurações de pisos flutuantes	31
Tabela 4: : Valor dos materiais utilizados no Drywall, atualizados.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
dB.	Decibéis
DnT,w	Diferença padronizada de nível ponderada
Hz	Hertz
ISO	Organização Internacional de Normalização
L'nT,w	Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado
NBR	Normas Brasileiras
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
ΔL_i	Varição do nível de pressão sonora de impacto
$\Delta L'nT,w$	Varição do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral.....	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3	JUSTIFICATIVA.....	13
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
4.1	Som e Ruído.....	14
4.1.1	Transmissão e propagação	16
4.2	Tratamento Acústico.....	18
4.2.1	Materiais para tratamento acústico.....	19
<u>4.2.1.1</u>	<u>Espuma elastomérica</u>	<u>19</u>
<u>4.2.1.2</u>	<u>Lã de Vidro</u>	<u>19</u>
<u>4.2.1.3</u>	<u>Lã de Rocha</u>	<u>20</u>
<u>4.2.1.4</u>	<u>Fibra de coco.....</u>	<u>20</u>
<u>4.2.1.5</u>	<u>Polietileno.....</u>	<u>20</u>
4.2.2	Tratamento Acústico.....	20
<u>4.2.2.1</u>	<u>Pisos Flutuantes.....</u>	<u>21</u>
<u>4.2.2.2</u>	<u>Forrações de Pisos.....</u>	<u>21</u>
<u>4.2.2.3</u>	<u>Forro Falso Suspenso</u>	<u>22</u>
<u>4.2.2.4</u>	<u>DryWall.....</u>	<u>23</u>
4.3	Norma de Desempenho	23
4.3.1	NBR 15.575-3 requisitos para os sistemas de pisos	24
4.3.2	NBR 15.575-4 requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas	25
5	METODOLOGIA DE PESQUISA	27
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6.1	Resultados	29
6.2	Desempenho Físico em Lajes	32
6.3	Desempenho físico em paredes de Drywall	33
6.4	Desempenho físico financeiro Lajes	34
6.5	Desempenho físico financeiro em Paredes de Drywall.....	35
7	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e conseqüentemente o aumento das cidades, a procura por moradia se torna cada vez maior. O déficit habitacional e os altos valores dos terrenos, impulsionaram a verticalização das habitações, tornando-se a opção mais exequível (OGAWA, ÁVILA e RASSI, 2014).

Diversos fatores que podem influenciar no conforto de uma residência, como o conforto térmico, conforto acústico, conforto lumínico, conforto estético, dentre outros. Pensando em atender as exigências e necessidades dos usuários, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), criou uma série de normas de desempenho para que as futuras habitações atendam a essas exigências (RUSSI, 2015).

A ABNT NBR 15.575-3:2021 e a NBR 15.575-4:2021 descrevem as recomendações que deverão ser seguidas nas futuras construções, para que elas forneçam ao usuário um maior desempenho acústico.

Para Ferraz (2008), níveis de ruído acima dos aceitáveis pelos usuários causam, além de incômodos, interferências no desempenho de tarefas, na inteligibilidade da fala e do sono. De um modo geral, para os seres humanos, o ruído também afeta a saúde e o bem-estar.

A utilização da técnica de Pisos Flutuantes vem apresentando inúmeras vantagens, pois atendem o quesito de conforto acústico ainda na fase de projeto, permitindo que os usuários possam escolher o revestimento segundo sua preferência (Pedroso 2007).

Não só a técnica de Pisos Flutuantes, mas existem outras alternativas que ainda são pouco difundidas entre construtores e usuários. Assim as lajes e contrapisos convencionais ainda são muito utilizadas por estarem mais enraizadas entre projetistas e construtores e também pelo mercado não apresentar e não difundir essas alternativas (OGAWA; ÁVILA e RASSI, 2014).

Com base no disposto acima, e com a oportunidade de se realizar mudanças significativas em busca de uma melhor qualidade nas edificações, o presente trabalho irá apresentar métodos de avaliação para a transmissão de ruídos de impacto, e demonstrar quais os materiais com melhor custo-benefício para que isso ocorra com eficiência.

Assim, o presente trabalho foi organizado da seguinte maneira: Capítulo 1 – Introdução. Onde o trabalho foi apresentado de maneira simples, destacando os fatores que podem influenciar o conforto térmico de uma residência; Capítulo 2 – Objetivos: Relatando quais os objetivos de se executar esta pesquisa; Capítulo 3 – Justificativa: onde é justificada a escolha por este tema; Capítulo 4 – Referencial teórico: contextualização do problema, onde são apresentados estudos sobre o que são sons e ruídos, como é feito o isolamento acústico, quais os materiais utilizados e também as normas que são utilizadas como referência; Capítulo 5 – Metodologia: é apresentado neste capítulo, como serão feitas as pesquisas em livros e dissertações, para o estudo final; Capítulo 6 – Resultados e Discussões: são apresentados os estudos usados como base para o trabalho, juntamente com os resultados que cada autor chegou, para assim então, chegar a um veredicto; Capítulo 7 – Conclusão: apresenta-se o resultado final do trabalho, juntamente com uma síntese sobre toda a caminhada do autor até o final do curso e como surgiu a ideia de escolha pelo tema apresentado.

2 OBJETIVOS

A seguir, serão traçados o objetivo geral e os específicos, que demonstrarão o foco do trabalho em questão.

2.1 Objetivo geral

Analisar os materiais indicados para o tratamento acústico ao ruído de impacto e ao ruído aéreo em edifícios habitacionais, e elencar quais os materiais de preenchimento demonstram melhor custo-benefício.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar os tipos de ruídos existentes em uma edificação;
- Verificar as características dos diferentes materiais utilizados no tratamento acústico;
- Analisar quais materiais são mais recomendados para o tratamento ao ruído de impacto entre lajes e quais são recomendados para o tratamento ao ruído aéreo em paredes;
- Apontar quais materiais apresentam um melhor custo-benefício ao tratar ruído de impacto em lajes flutuantes e qual apresenta melhor custo-benefício ao tratar o ruído aéreo em paredes de Drywall.

3 JUSTIFICATIVA

Segundo Heidemann, Cândido e Kosour (2011), existe uma relação direta entre o nível de ruído apresentado no ambiente de internação e o aumento do estresse em pacientes cardíacos. Assim, consegue-se relacionar o aumento de doenças causadas por estresse, ao crescimento dos centros urbanos, e seus recorrentes importunos causados pelo ruído de passos, quando se fala em habitações verticais, veículos barulhentos ou até mesmo aparelhos de som com o volume acima do permitido.

De acordo com Russi (2015), a construção civil está em constante evolução, seja em materiais e equipamentos ou técnicas construtivas, porém, ainda existe uma deficiência quando relaciona-se essa evolução ao conforto acústico. Mesmo com uma norma vigente, engenheiros e projetistas negligenciam o uso de materiais que aumentam o conforto acústico das edificações. Esse fato ocorre devido a dificuldades na hora de projetar, tanto ao dispor ambientes adjacentes que transmitam grande intensidade sonora, como escassez de mão de obra especializada, que envolve o uso de materiais próprios e que exigem cuidado para que se alcance uma absorção sonora eficiente. Segundo Oliveira (2006), o desconhecimento de algumas tecnologias construtivas e seu uso inadequado, pode vir a transformar um ambiente de forma que este não ofereça condições ideais de uso.

Neste contexto, o estudo dos ruídos provocados pelo impacto em um edifício de múltiplos pavimentos, assim como o estudo dos ruídos aéreos em cômodos adjacentes, as alternativas de produtos e normas vigentes, bem como os métodos de execução, trabalham no sentido de garantir maior qualidade à moradia e, conseqüentemente, um maior desempenho acústico aos usuários a um custo acessível.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados tópicos que exemplificam os conceitos de som e ruído, transmissão, propagação e absorção. Será também apresentada a norma que trata sobre ruídos de impactos, juntamente com a forma correta de efetuar a medição desses ruídos, que é o foco principal do presente trabalho.

4.1 Som e Ruído

De acordo com Bistafa (2011), os sons são resultado das vibrações das partículas do ar que se disseminam a partir de estruturas vibrantes, entretanto não é toda estrutura que vibra que pode gerar som, sendo este uma sensação produzida no sistema auditivo.

Segundo Fernandes (2013), os ruídos são sons considerados inconvenientes, desagradáveis e podem ser perigosos. Isso porque podem alterar o bem-estar psicológico e fisiológicos, podendo levar a perda de audição. De acordo com Gerges, 2000 (p.2):

Na prática, a geração do ruído é causada pela variação da pressão ou da velocidade das moléculas no meio. O som é uma forma de energia que é transmitida pela colisão das moléculas do meio, umas contra as outras, sucessivamente. Portanto, o som pode ser representado por uma série de compressões e rarefações do meio em que se propaga, a partir da fonte sonora.

A NBR 15575-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021) afirma que o ruído aéreo é caracterizado como todo som produzido e transmitido através do ar, enquanto o ruído de impacto é todo aquele som produzido pela colisão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar.

O Quadro 1 apresenta os níveis de pressão sonora para alguns sons e ruídos do dia a dia e as respectivas sensações de intensidade que elas causam, para deixar a relação entre o valor em dB e sua respectiva sensação mais perceptível.

Quadro 1: Níveis de pressão sonora

Sensação subjetiva de intensidade	Descrição	Pressão sonora (Pa)	Nível de pressão sonora (dB)
Estrondoso	Perigo de ruptura do tímpano	200	140
	Avião a jato a 1m		
	Fogo de artilharia		
	Limiar da dor	63	134
	Tambor de graves a 1m		
	Avião a jato a 5m		
Muito barulhento	Limiar do desconforto auditivo	20	120
	Avião a pistão a 3m		
	Broca pneumática		
	Metrô	6,3	110
	Próximo a uma britadeira		
	Industria barulhenta	2	100
	Dentro de um avião		
Barulhento	Banda ou orquestra sinfônica	0,63	90
	Rua Barulhenta		
	Dentro de um automóvel de alta velocidade	0,2	80
	Escritório barulhento		
	Aspirador de pó		
Moderado	Rua de Barulho médio	0,063	70
	Pessoa falando a 1m		
	Escritório de barulho médio	0,02	60
	Rádio com volume médio		
Tranquilo	Restaurante tranquilo	0,006	50
	Escritório aberto (com tratamento acústico)		
	Sala de aula (ideal)	0,002	40
	Escritório privado (ideal)		
Silencioso	Teatro vazio	0,0006	30
	Quarto de dormir		
	Movimento de folhagem	0,0002	20
	Estúdio de rádio e TV		
Muito silencioso	Deserto ou região polar (sem vento)	0,00006	10
	Respiração normal		
	Laboratório de acústica (câmara anecoica)	0,00002	0
	Limiar de audição		

Fonte: Adaptado de Bistafa (2011, p.32)

O ruído pode ser proveniente de diversas fontes, sendo originado, por exemplo, em conversas, no caminhar, na queda de objetos, em instrumentos musicais, entre

outros. Para que se encontrem as melhores formas de suavizar os problemas gerados pelo desconforto acústico deve-se classificar o tipo de ruído existente, direcionando as soluções encontradas de acordo com seu tipo de fonte e conforme sua transmissão. A energia sonora pode ser transmitida via aérea e/ou via sólido, dividindo-se assim os ruídos em: ruídos aéreos e ruídos de impacto (GERGES, 2000).

4.1.1 Transmissão e propagação

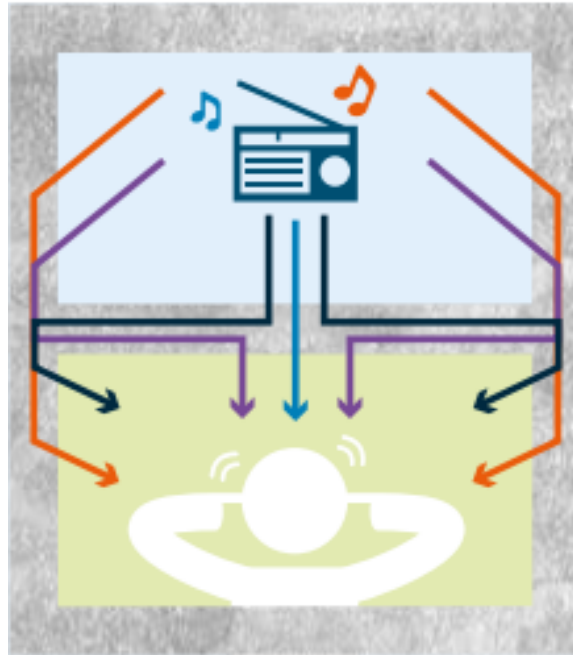
De acordo com Gerges (2000), no ar, o som se propaga somente por ondas longitudinais, enquanto no meio sólido, podem existir diferentes tipos de ondas, podendo ser longitudinais, de cisalhamento, torcional ou de flexão.

Segundo Souza, Almeida e Bragança (2006), existem alguns elementos da construção que são considerados os principais responsáveis pela propagação do ruído aéreo, são eles:

- Portas;
- Janelas;
- Paredes;
- Pisos;
- Frestas ou fendas em superfícies.

Estes elementos são demonstrados na Figura 1.

Figura 1: Transmissão de ruído aéreo



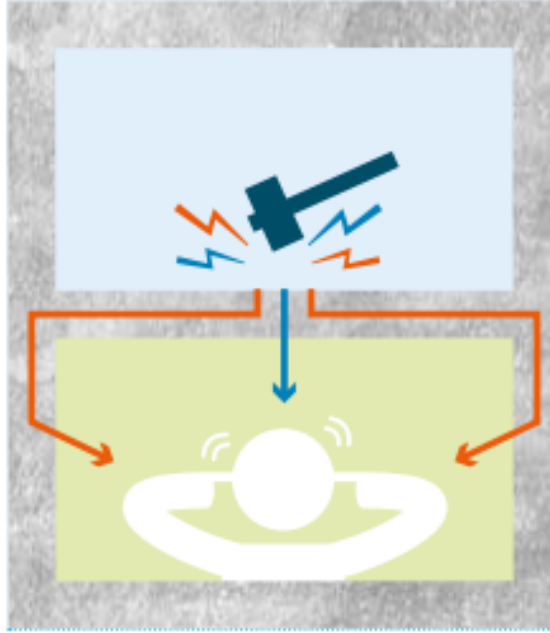
Fonte: Pro Acústica (2015, p.10)

De acordo com Pedroso, 2007, o ruído aéreo é produzido a partir da variação da pressão sonora, propaga-se no ar em forma de ondas esféricas. Ao atingir a estrutura de uma edificação o ruído aéreo será transmitido pela vibração das paredes, gerando uma outra onda sonora no ambiente oposto. (p.24)

Ruídos de impacto, exemplificados na Figura 2:

Quando os ruídos são resultantes de forças impostas diretamente sobre estruturas, eles podem ser gerados por vibrações em sólidos ou impacto. A ação de uma energia mecânica diretamente sobre um corpo sólido, tal como a vibração ou fricção constante de motores sobre uma laje, é capaz de se transmitir através de estruturas sólidas, mesmo antes de se propagar pelo ar. Este é o caso da vibração de trens sobre o solo. No caso de impacto, uma força de curta duração e pico de energia, agindo sobre a estrutura, provoca a transmissão sonora. A queda de um objeto, por exemplo, é um ruído de impacto. (SOUZA; ALMEIDA e BRAGANÇA, 2006, p.61)

Figura 2: Transmissão de ruído de impacto



Fonte: Pro Acústica (2015, p.9)

Segundo Ferraz (2008), enquanto o ruído aéreo se propaga apenas longitudinalmente, o ruído de impacto o faz em todas as direções, tanto na longitudinal, como na transversal, ou até mesmo nas direções de torção e de cisalhamento. A velocidade de transmissão das suas ondas vai variar de acordo com o tipo de material excitado.

4.2 Tratamento Acústico

Neste tópico, serão apresentados os diferentes tipos de materiais utilizados no tratamento acústico para que se consiga atender as normas de desempenho, e quais são as melhores técnicas que permitem um melhor aproveitamento dos materiais.

Para Carvalho (2006), fazer o tratamento acústico de um ambiente consiste em amenizar a entrada dos ruídos externos, de forma a alcançar uma compatibilidade sonora em relação a atividade a ser executada no seu interior.

Porém, de acordo com Gerges (2000), a amenização do ruído decorrente da presença de paredes, divisórias ou partições, não são a única maneira de diminuir a transmissão sonora entre ambientes.

4.2.1 Materiais para tratamento acústico

Segundo Pedroso (2007), quanto maior a resiliência de um material, maior será sua eficiência acústica. Ou seja, os materiais, em geral, devem ser flexíveis, portanto, devem possuir uma propriedade em que, após sofrer algum dano, consiga retornar a sua forma inicial.

A seguir, serão apresentados alguns dos materiais utilizados para garantir um melhor tratamento acústico seja em lajes ou paredes.

4.2.1.1 Espuma elastomérica

De acordo com Catai, Penteado e Dalbello (2006), a espuma elastomérica é uma espuma do poliuretano poliéster, que, além de absorvente acústico, possui propriedades como: retardante a chama e proteção contra ácaros. Também é indicado para tratamentos acústicos em auditórios, salas de cinema e salas de som. O material é oferecido no mercado em forma de placas de diversas espessuras e dimensões, podendo ser adquirido de acordo com a necessidade do cliente.

4.2.1.2 Lã de Vidro

Conforme estudos de Ferraz (2008), a manta de lã de vidro é um material fibroso com alto desempenho acústico, alto coeficiente de absorção acústica, sendo sua aplicação muito indicada para pisos e forros. Além disso, a lã de vidro possui diversas propriedades, como sendo incombustível, alta durabilidade e resistência a microrganismos e intempéries, é de fácil aplicação e inquebrável. Tais características

faz com que não haja perdas na sua aplicação e também não maleficia as superfícies com as quais entra em contato.

4.2.1.3Lã de Rocha

Segundo Lima (2013), a lã de rocha é um produto industrializado composto de rocha proveniente de vulcões. Ela pode formar painéis de espessura e consistência variáveis e tem a função de providenciar isolamento térmico e acústico, quando instalada no interior de painéis entre as chapas de fechamento.

4.2.1.4Fibra de coco

A mistura da fibra de coco ao aglomerado de cortiça apresenta resultados surpreendentes quanto à absorção de ondas, resultados esses que dificilmente são alcançados por outros materiais. Além de apresentar grande resistência, é um material versátil, indicado para tratamento térmico e acústico, além de ser renovável. (CATAI; PENTEADO E DALBELLO, 2006)

4.2.1.5Polietileno

O polietileno é um polímero que pertence à classe dos termoplásticos. O seu produto, a manta de polietileno, constitui-se em uma espuma leve, de célula fechada, onde estruturalmente se assemelha a uma colmeia, afirma Ferraz (2008).

4.2.2 Tratamento Acústico

Neste tópico serão apresentadas técnicas para efetuar o correto tratamento acústico tanto para ruído de impacto em lajes como para ruído aéreo em paredes.

4.2.2.1 Pisos Flutuantes

Para Pedroso (2007), o método de pisos flutuantes apresenta excelentes desempenhos a depender do material utilizado, pois consegue se adaptar perfeitamente aos revestimentos mais utilizados. É uma criação baseada na utilização de um material elástico que isola o contrapiso e seu revestimento final da laje do edifício.

Esta técnica separa o contrapiso da laje, utilizando um material que absorve ondas sonoras de possíveis impactos, fazendo com que o som não ultrapasse a laje e não atinja os ambientes imediatamente abaixo. Para que isso ocorra de forma correta, é necessário que os materiais utilizados retornem à sua forma original após sofrerem deformações, ou seja, materiais resilientes (PEDROSO, 2007).

Proacústica (2015, p.11) afirma que: “para a fabricação de elementos resilientes, na maioria das vezes são utilizados materiais como: lã mineral, espuma de polietileno, borracha reciclada de pneu, cortiça, emulsões asfálticas, lã de pet, mantas elastoméricas etc.”.

4.2.2.2 Forrações de Pisos

Este método se baseia na ideia de que um impacto sobre uma laje de concreto encontre primeiramente um anteparo elástico e que seja capaz de absorver e amortecer a vibração transitória gerada (BRONDANI, 1999).

Conrad (2002) fez um estudo comparando diversos tipos de revestimentos de pisos para o isolamento ao ruído de impacto, e chegou as seguintes conclusões:

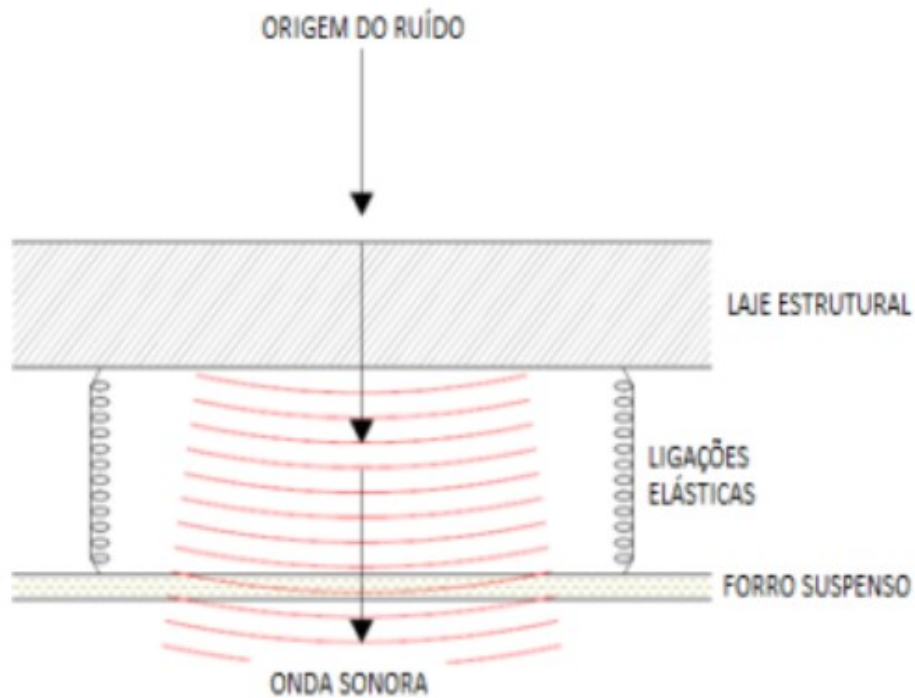
- Em revestimentos de borracha, a absorção é diretamente proporcional a espessura do revestimento;
- Em carpetes, a absorção é diretamente proporcional à altura do pelo;
- Em carpetes que fazem o uso de uma base isolante, a absorção se manteve em valores próximos, de maneira independente à espessura ou ao tipo de textura do tapete.
- Em pisos laminados de madeira, com uso de tapetes, observou-se que a absorção varia de acordo com a espessura e textura do tapete.

Segundo Pedroso (2007), apesar dos melhores resultados serem apresentados por tapetes e carpetes, são técnicas pouco utilizadas por questões culturais e sanitárias, pois esses dois componentes podem contribuir para a origem de doenças alérgicas.

4.2.2.3 Forro Falso Suspenso

É um método que consiste na colocação de um forro falso no ambiente que irá receber os ruídos. Este forro deve consistir em um material poroso e com boa quantidade de massa, sendo executado de forma a deixar uma camada de ar entre o forro e a estrutura, podendo também ser preenchido por um material com boa absorção sonora (MENDEZ *et al.*, 1995).

Figura 3: Transmissão de ruído de impacto por um forro falso suspenso



Fonte: Conrad (2002, p.24)

Medeiros (2003) desenvolveu um estudo utilizando 14 tipos de composições de forro de gesso acartonado, variando as composições com uma a múltiplas camadas de gesso e também composições com e sem preenchimento da camada de ar. Chegou o referido autor à conclusão de que a utilização de forros falsos não apresenta desempenho que justifique sua utilização para ruído de impacto, visto que sua execução só possui absorção significativa em ruídos aéreos. E ressalta que à medida que se aumentam as camadas dos materiais absorventes, sua eficácia não aumenta proporcionalmente.

4.2.2.4DryWall

Segundo Lamounier (2008), o Drywall consiste em um sistema de divisórias com um material absorvente instalado ao meio de duas placas. O sistema é composto de uma estrutura em aço galvanizado com placas de gesso revestidas por papelão. Essa técnica construtiva possui menor peso e menor espessura, quando comparado a paredes de alvenaria. Um fator que chama a atenção é que os índices de isolamento dependerão do material colocado entre as placas de gesso e as suas respectivas espessuras.

4.3 Norma de Desempenho

A indústria da construção brasileira vem transformando positivamente seus parâmetros de qualidade quanto aos requisitos mínimos de segurança para habitações residenciais, resultando na criação da nova norma técnica brasileira, a Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais, NBR 15.575, onde estabelece novas exigências de conforto e segurança, associando a qualidade dos produtos ao conforto que geram ao consumidor final (CBIC, 2013).

4.3.1 NBR 15.575-3 requisitos para os sistemas de pisos

A norma da ABNT NBR 15575-3:2021 – Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos, determina critérios para tratamento de ruído aéreo e de impacto.

Para ruídos de impacto, a NBR 15.575-3:2021 disponibiliza 2 métodos para se realizar a avaliação das vedações nos sistemas de pisos, são eles: o Método de engenharia, onde se determina de forma rigorosa, o nível de pressão sonora de impacto entre unidades caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema testado. Este método é descrito nas ISO 16283-2 e ISO 717-2; O segundo método é chamado de método simplificado de campo, onde ele permite se obter uma estimativa de isolamento sonoro, quando não há a disponibilidade dos equipamentos capazes para se medir o tempo de reverberação. Este método é descrito nas ABNT NBR ISO 10052, ISO 717-1 e ISO 717-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021b).

O critério da norma avalia o som proveniente dos ruídos de impacto entre as unidades habitacionais adjacentes. Por recomendação da NBR 15.575:2021, a avaliação deve ser efetuada com portas e janelas fechadas, assim como foram entregues pela construtora ou incorporadora, sempre levando em consideração o sistema de piso utilizado pela construtora (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021b).

Os valores mínimos do nível de pressão sonora de impacto ponderado ($L'_{nT,w}$) recomendados pela norma NBR 15.575:2021 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021b), são indicados na figura abaixo, acompanhado dos seus respectivos níveis de desempenho, retirado da NBR 15.575-3:2021.

Figura 4: Critério e níveis de desempenho, $L'_{nT,w}$, para ruídos de impactos em sistemas de pisos para salas e dormitórios.

Elemento de separação	$L'_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Sistema de piso de unidades habitacionais autônomas sobre dormitório	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de piso de unidades habitacionais autônomas sobre sala	Não se aplica	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, lavanderias coletivas e corredores) sobre dormitório de unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	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, lavanderias coletivas e corredores) sobre sala de unidades habitacionais autônomas	Não se aplica	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

Fonte: ABNT (2021b, p.42)

Onde:

- M = nível de desempenho mínimo;
- I = nível de desempenho intermediário;
- S = nível de desempenho superior.

4.3.2 NBR 15.575-4 requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas

A norma da ABNT NBR 15.575-4: 2021 – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE, apresenta alguns requisitos para a verificação do tratamento acústico entre o meio externo e interno, entre unidades autônomas e entre dependências de uma unidade e áreas comuns.

Assim como foi feito na norma de ruído de impacto NBR 15.575-3:2021, a NBR 15.575-4:2021 também disponibiliza 2 métodos para se realizar a avaliação das vedações verticais internas e externas, são eles: o Método de engenharia para paredes internas (SVVI), onde se é determinado de forma rigorosa o isolamento entre

unidades, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema. Este método é descrito nas ABNT NBR ISO 16283-1 e ISO 717-1; o segundo método é o chamado método simplificado de campo, onde se obtém uma estimativa do isolamento sonoro global entre as unidades, quando não há a disponibilidade de equipamentos capazes de medir o tempo de reverberação. Este método é descrito nas ABNT NBR ISO 10052 e ISO 717-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021c).

A norma avalia a intensidade sonora proveniente de ruídos aéreos entre cômodos adjacentes de uma mesma unidade habitacional. Por recomendação da NBR 15.575-4:2021, a avaliação deve ser feita com portas e janelas fechadas, assim como foram entregues pela construtora ou incorporadora, sempre levando em consideração o sistema de piso utilizado pela construtora (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021).

Os valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$) recomendados pela norma NBR 15.575-4:2021 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021c), são indicados na figura abaixo, retirada da NBR 15.575-4:2021.

Figura 5: Critério e nível de desempenho mínimo, $D_{nT,w}$, de isolamento a ruído aéreo de vedações internas.

Elemento de separação	$D_{nT,w}$ dB
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações em que não haja ambiente dormitório	≥ 40
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥ 45
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e as áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40
Parede cega entre uma unidade habitacional e as áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos, nas situações em que não haja dormitório	≥ 30
Parede cega entre o dormitório ou sala de uma unidade habitacional e as áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i> ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades), nas situações em que não haja ambiente dormitório	≥ 40
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i> ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades), caso pelo menos um dos usos dos ambientes seja dormitório	≥ 45

Fonte: ABNT (2021C, p.36)

5 METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente trabalho se enquadra como um estudo de natureza bibliográfica. De acordo com Marconi e Lakatos (2003), uma pesquisa de natureza bibliográfica compreende toda bibliografia tornada pública em relação ao tema de estudo, podendo ser em artigos, teses, dissertações e livros.

Foram incluídos neste estudo, monografias, artigos, normas técnicas, manuais e dissertações que englobem temas como: Desempenho acústico, tratamento acústico, normas de desempenho, Drywall e pisos flutuantes, e excluídos assuntos que não apresentassem assuntos irrelevantes ao tema definido.

Inicialmente foi pesquisado a diferença entre som e ruído, para que houvesse uma separação e o termo ruído fosse apresentado para a continuidade do trabalho. A Partir disso, foram reunidas informações sobre os tipos de ruídos existentes dentro de um edifício multifamiliar, sendo eles o ruído aéreo e o ruído de impacto, as características de cada um, e como é feita a sua propagação.

Em seguida, pesquisou-se quais os materiais utilizados para se fazer a absorção de ruídos em lajes e paredes e quais são as características desses materiais, onde encontrou-se que a sua eficiência acústica é diretamente proporcional a sua resiliência (capacidade de um material retornar ao seu estado inicial após sofrer algum tipo de dano).

Após reunidas as informações sobre os materiais utilizados, foram pesquisados quais os métodos construtivos são utilizados no tratamento contra ruído de impacto em lajes, e quais são utilizados no tratamento contra ruído aéreo em paredes, para assim então, buscar-se respostas sobre o desempenho acústico desses métodos, suas potencialidades e limitações. Foi escolhido 2 métodos para servirem de base para comparações e estudos, sendo o primeiro o método de pisos flutuantes, para tratamento acústico em lajes, e o segundo sendo o de preenchimento interno de drywall para tratamento acústico em paredes.

Foram utilizados, majoritariamente, 3 estudos para se fazer a comparação de resultados, 2 deles tratando sobre o método de pisos flutuantes e 1 deles tratando do método de preenchimento de paredes em drwall.

Feitas as análises dos resultados obtidos nos 3 estudos, pesquisou-se os valores de cada um dos materiais resilientes utilizados pelos autores, para então

realizar-se cálculos que ilustrassem quais desses materiais apresentariam uma melhor relação custo-benefício, de acordo com os resultados e valores encontrados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados e discussões obtidos nas pesquisas apresentadas.

6.1 Resultados

Pedroso (2007) analisou diversas composições de pisos flutuantes, em seu trabalho, utilizando diversos materiais resilientes que atendiam às condições necessárias para o princípio massa-mola-massa. O autor então os associou a diferentes revestimentos para piso, focando sua pesquisa em revestimentos de porcelanatos e laminados de madeira.

Os resultados obtidos pelo Pedroso (2007), estão apresentados na Tabela 1, retiradas do seu trabalho, porém reorganizada seguindo a sequência das composições menos isolantes para as mais isolantes, de acordo com os resultados dos níveis de pressão sonora de impacto ponderado ($L'_{nT,w}$).

Tabela 1: Nível de pressão sonora de impacto ponderado (dB)

Composição do modelo	$L'_{nT,w}$ (dB)
01 - Laje de entre-piso sem revestimento (referência)	78
02 - Laje de entre-piso+laminado	75
03 - Laje de entre-piso+ porcelanato	73
04 - Laje de entre-piso+ruberflex+laminado	67
05 - Laje de entre-piso+densiflex+laminado	67
06 - Laje de entre-piso+polietileno+laminado	67
07 - Laje de entre-piso+densiflex+porcelanato	65
08 - Laje de entre-piso+polietileno+porcelanato	65
09 - Laje de entre-piso+isofoan+porcelanato	64
10 - Laje de entre-piso+isofoan+laminado	64
11 - Laje de entre-piso+isopor VI+laminado	63
12 - Laje de entre-piso+ruberflex+porcelanato	62
13 - Laje de entre-piso+isopor VI+porcelanato	62
14 - Laje de entre-piso+lã-de-vidro+laminado	56
15 - Laje de entre-piso+lã-de-vidro+porcelanato	50

Fonte: Adaptado de Pedroso (2007, p.69 e p.79)

Na Tabela 2, estão apresentados os valores em reais obtidos por Pedroso, e também os valores atualizados para o ano de 2022, de cada um dos materiais utilizados. Alguns desses materiais não são mais produzidos, para tanto foi colocado um asterisco (*) ao lado do preço apurado para o ano de 2022, demonstrando que aquele item foi substituído por outro de características similares.

Tabela 2: Valor dos materiais por metro quadrado.

Descrição do Material	Preço ao consumidor (2007) p/ m ²	Preço ao consumidor (2022) p/ m ²	Referências
Placas de lã de vidro – Optima Piso	R\$ 14,00	R\$ 53,56	Portal da acústica
Manta de borracha reciclada Rubberflex	R\$ 7,31	R\$ 60,92	Mercado livre
Manta de borracha reciclada Densiflex	R\$ 6,19	R\$ 44,30	Mercado livre
Placa de poliestireno expandido – Isopor VI	R\$ 9,00	R\$ 37,38	Mercado livre
Placa de poliestireno expandido - Isofoan	R\$ 14,56	R\$ 55,63	Terac
Manta de polietileno – Stratocell	R\$ 7,12	R\$ 12,31	Portal da acústica

Fonte: Adaptado de Pedroso (2007, p.89)

No estudo redigido por Pedroso (2007), comparados aos níveis exigidos pela NBR 15.575-3:2021 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021b), todas as composições atingiram, pelo menos, o nível mínimo de pressão sonora de impacto ponderado ($L'_{nT, w}$) exigido em norma (< 80 dB). Com destaque para a composição de “laje de entepiso + lã de vidro + porcelanato”, sendo a única composição a alcançar o nível “S” (superior), ficando abaixo dos 55dB exigidos na norma.

Ferraz (2008) realizou medições em 16 composições de pisos flutuantes completos com materiais resilientes, sendo eles o Polietileno e a Lã de Vidro, alternando esses materiais em cada uma das configurações e sempre mantendo uma placa de concreto como contrapiso.

Os resultados obtidos por Ferraz (2008) estão assinalados, de forma reduzida na Tabela 3, apenas com a composição de cada teste e o nível de pressão sonora de impacto ponderado ($L'_{nT, w}$).

Tabela 3: Resultado das medições com diferentes configurações de pisos flutuantes

ENSAIO	COMPOSIÇÃO DO MODELO	L'nT,w (dB)
1	Laje	63
2	Laje+lã de vidro+argamassa+porcelanato	44
3	Laje+lã de vidro+placa cimentícia 12mm+porcelanato	42
4	Laje+lã de vidro+placa cimentícia 10mm+porcelanato	45
5	Laje+lã de vidro+placa cimentícia 20mm+porcelanato	45
6	Laje+argamassa+porcelanato	60
7	Laje+lã de vidro+placa sanduíche1+porcelanato	55
8	Laje+polietileno+argamassa	53
9	Laje+polietileno+argamassa+porcelanato	54
10	Laje+polietileno+argamassa+madeira	52
11	Laje+lã de vidro+placa sanduíche2+porcelanato	43
12	Laje+lã de vidro+argamassa+madeira	53
13	Laje+2 lã de vidro+argamassa+porcelanato	35
14	Laje+2 polietileno+argamassa+porcelanato	50
15	Laje+argamassa+madeira	59
16	Laje+2 lã de vidro 50mm+2 polietileno+argamassa+porcelanato	36

Fonte: Adaptado de Ferraz (2008, p.80)

Assim como nos ensaios de Pedroso (2007), todos aqueles conduzidos por Ferraz (2008) também ficaram abaixo do nível mínimo de pressão sonora exigido pela norma NBR 15.575-3:2021 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021b). Mesmo utilizando materiais similares, alguns resultados divergiram, com uma diferença próxima de 3 dB. Esse fato pode ser explicado por alguma diferença na composição dos materiais utilizados que, apesar de possuírem a mesma denominação, em lugares diferentes do país podem ser fabricados de diversas formas, variando sua composição.

Vale salientar que ambos os autores fizeram seus testes dentro do intervalo de frequência que vai de 100Hz a 3.150Hz, para a partir disso, poderem calcular uma média ponderada dos resultados.

Diferente de Pedroso (2007), onde somente 1 ensaio conseguiu atingir o nível “S” de isolamento, dentre os 16 ensaios realizados por Ferraz (2008), 12 deles conseguiram atingir este mesmo nível. Esse resultado pode ter ocorrido pela pouca variedade de materiais resilientes utilizados por Ferraz (2008), onde foi utilizando somente o Polietileno e a Lã de Vidro, alternando somente suas quantidades e posições, entre um ensaio e outro.

6.2 Desempenho Físico em Lajes

Após todos os testes e análises, Pedroso (2007) chegou à conclusão de que a lã de vidro, dentre todos os materiais testados, se mostrou o mais eficaz, possuindo o melhor rendimento absoluto e um melhor desempenho ao ruído de impacto em todas as frequências avaliadas. E quando usado em conjunto com o porcelanato, consegue uma melhoria de 4dB, em comparação a sua utilização com o laminado.

Ainda segundo Pedroso (2007), os demais materiais possuem desempenhos semelhantes. Em uma sequência hierárquica, a manta de borracha reciclada (EVA), acelerada com cola (Ruberflex) tem um ganho de 3dB quando usado em conjunto ao porcelanato, em relação ao laminado. Uma melhoria de 1dB para a placa de poliestireno expandido, com densidade de 27,5kg/m³ (isopor IV) e 2dB para a placa de poliestireno expandido, com densidade de 32,5kg/m³ (isofoan) quando usados com o porcelanato, comparando os mesmos quando utilizados com o laminado. Os materiais de manta de borracha reciclada, acelerada com cola (densiflex) e a manta de espuma de polietileno (stratocell) apresentam a menor relação vantajosa, quando utilizados ao porcelanato, e ao laminado, possuindo uma variação no nível de pressão sonora de impacto ponderado ($\Delta L'_{nT,w}$) de 8dB em relação ao sistema tradicional, sendo o menor $\Delta L'_{nT,w}$ dentre os materiais analisados, onde as variações de resultados obtidos por Pedroso (2007) serão apresentadas no Quadro 3.

Ferraz (2008), como analisou somente 2 materiais resilientes, porém, alternando-os e utilizando-os em diferentes configurações, observou-se que no geral, a lã de vidro conseguiu alcançar um desempenho superior em relação a manta de polietileno. Quando utilizados separadamente, a manta de polietileno, a partir dos 10mm, não apresentou mudanças em seus resultados. No entanto a lã de vidro conseguiu ganhos de desempenho até a espessura de 30mm.

Além desses resultados, Ferraz (2008) fez a observação de que, quando a lã de vidro e o polietileno trabalharam em conjunto como materiais resilientes, a ordem em que estavam dispostos não acarretou mudanças no resultado. Também pôde observar que os melhores desempenhos ocorreram quando os materiais que tinham as mesmas propriedades estavam dispostos lado a lado, e não quando trabalhavam separados por outro material.

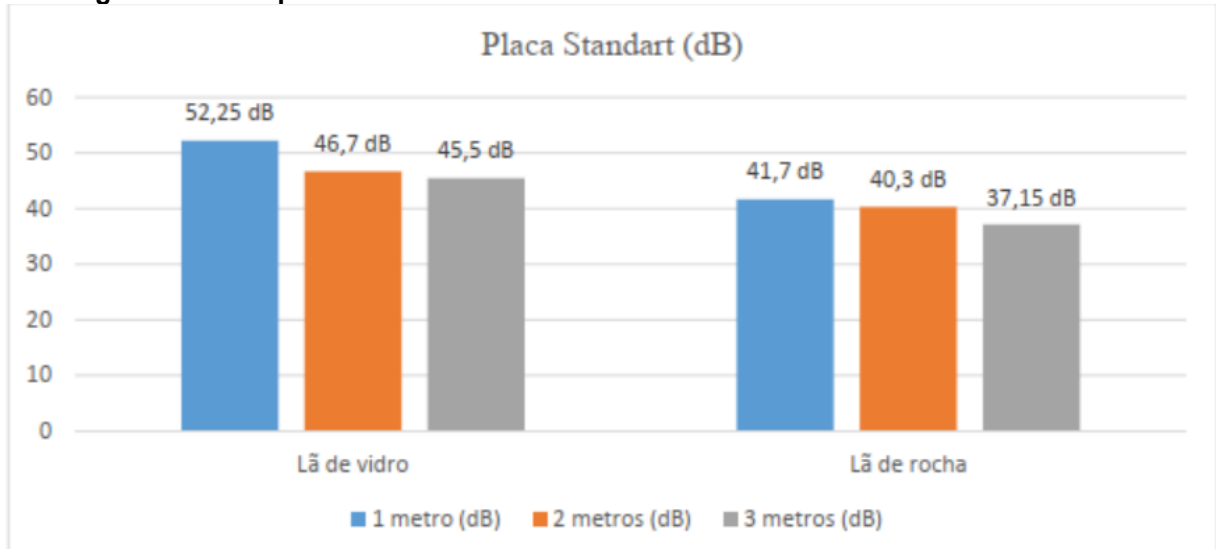
6.3 Desempenho físico em paredes de Drywall

Na análise do desempenho físico em paredes de Drywall, o estudo produzido por Fernandes et al. (2018), foi utilizado como base para esta análise. Nele, foram efetuados testes com 2 corpos de prova, com as dimensões de 60x60 cm, utilizando os seguintes materiais:

- Chapa ST 120x180cm (1 un)
- Perfil metálico M48 (6 m)
- Parafuso C25 (60 un)
- Massa rejunte (1 kg)
- Fita papel (8 m)
- Lã de rocha (1,8 m²)
- Lã de vidro (1,8 m²)

Segundo Fernandes et al. (2018), para se obter o resultado final da pesquisa, foram realizados testes em um ambiente fechado, com os corpos de prova sendo submetidos a ensaios com 3 distâncias distintas entre o emissor de ruídos e o receptor. Foram utilizadas as distâncias de 1m, 2m e 3m e segundo os mesmos, a lã de rocha obteve o melhor desempenho nas três aferições, saindo-se melhor com a chapa *Standart*. Como demonstra a Figura 6.

Figura 6: Placa que obteve melhor resultado de eficiência acústica - Standard



Fonte: Fernandes et al. (2018, p.126)

6.4 Desempenho físico financeiro Lajes

Ao se analisar os resultados obtidos pelos testes de Pedroso (2007), foi encontrado a variação no nível de pressão sonora de impacto ponderado ($\Delta L'_{nT,w}$) de cada um dos materiais testados de acordo com o revestimento usado. A partir desse cálculo, os resultados obtidos foram divididos pelo preço reajustado de cada um deles, assim obtendo-se uma sequência dos materiais que possuem o melhor custo-benefício dentre os testados pelo autor, sendo o mais próximo de 1 o com melhor custo-benefício e o mais próximo de 0 o material com pior custo-benefício.

Fazendo-se a análise fria dos dados obtidos por Pedroso (2007), juntamente com os cálculos de custo-benefício explicados anteriormente, chegou-se ao resultado de que o material que possui o melhor custo-benefício no tratamento acústico para ruído de impacto seria o Polietileno, muito mais pelo seu preço, que pouco mudou, de 2007 para 2022, do que pela sua eficácia em relação a absorção acústica, como pode ser visto no Quadro 3, onde é apresentado o nível de pressão sonora de impacto ponderado ($L'_{nT,w}$), a variação do nível de pressão sonora de impacto ponderado ($\Delta L'_{nT,w}$), o preço atualizado de cada um dos materiais e o cálculo da divisão da variação do nível de pressão sonora de impacto ponderado pelo preço de cada um dos materiais.

Quadro 2: Ranking custo-benefício

	COMPOSIÇÃO	L'nT,w	$\Delta L'nT,w$	Preço (R\$)	$\Delta L'nT,w/preço$
	Laje de entre-piso+laminado	75	-	-	-
	Laje de entre-piso+ porcelanato	73	-	-	-
1º	Laje de entre-piso+polietileno+porcelanato	65	8	12,31	0,65
2º	Laje de entre-piso+polietileno+laminado	67	8	12,31	0,65
3º	Laje de entre-piso+lã-de-vidro+porcelanato	50	23	53,56	0,43
4º	Laje de entre-piso+lã-de-vidro+laminado	56	19	53,56	0,35
5º	Laje de entre-piso+isopor VI+laminado	63	12	37,38	0,32
6º	Laje de entre-piso+isopor VI+porcelanato	62	11	37,38	0,29
7º	Laje de entre-piso+isofan+laminado	64	11	55,63	0,20
8º	Laje de entre-piso+densiflex+porcelanato	65	8	44,3	0,18
9º	Laje de entre-piso+densiflex+laminado	67	8	44,3	0,18
10º	Laje de entre-piso+ruberflex+porcelanato	62	11	60,92	0,18
11º	Laje de entre-piso+isofan+porcelanato	64	9	55,63	0,16
12º	Laje de entre-piso+ruberflex+laminado	67	8	60,92	0,13

Fonte: Adaptado de Pedroso (2007, p.69, 79 e 89)

Além disso, pode-se observar, analisando os resultados obtidos por Ferraz (2008), que o polietileno em comparação com a Lã de vidro, material que ficou em segundo lugar no ranking de custo-benefício, por si só, não alcança resultados muito chamativos e não consegue melhorá-los mesmo quando sua espessura é aumentada. Já a lã de vidro, com pouca espessura, alcança resultados melhores e consegue melhorar a medida em que sua espessura aumenta.

Deste modo, foi selecionada a lã de vidro como o material com o melhor custo-benefício, seguido do polietileno em segundo lugar, em terceiro lugar ficou o isopor VI, em quarto lugar o densiflex, em quinto o isofan e em sexto lugar o ruberflex.

6.5 Desempenho físico financeiro em Paredes de Drywall

Foi pesquisado o preço atualizado dos materiais utilizados por Fernandes et al. (2018), dispostos na Tabela 4.

Tabela 4: Valor dos materiais utilizados no Drywall, atualizados.

Descrição do Material	Preço ao consumidor (2022) p/ m ²
Placas de lã de vidro	R\$ 53,56
Manta de lã de rocha	R\$ 55,15

Fonte: Autoria própria (2022)

A partir dos resultados obtidos por Fernandes et al. (2018), e com a obtenção dos preços atualizados dos materiais utilizados pelos autores, observou-se que a Lã de rocha, apesar de ser mais caro, apresenta melhores resultados em relação a absorção de ruídos aéreos, quando comparado à lã de vidro. Assim, a lã de rocha pode ser considerado o material com melhor custo-benefício para preenchimento de paredes em Drywall, quando o foco é o tratamento de ruídos aéreos.

Como foi visto anteriormente, existem vários materiais que podem ser utilizados como preenchimento para se realizar a absorção de ruídos de impacto e aéreo em edifícios habitacionais, variando em características, performance e valor. Visto tudo isso, chegou-se à conclusão de que os materiais com melhor custo-benefício, dentre os estudados são: Lã de Vidro, para o sistema de pisos flutuantes, por apresentar um $\Delta L'nTw$ bem expressivo em relação aos seus concorrentes, e a Lã de Rocha, para o sistema de Drywall, conseguindo uma absorção de ruídos um pouco maior que seu concorrente (Lã de Vidro) e com preços parecidos, acaba sendo aconselhável utilizá-lo para conseguir um melhor desempenho.

7 CONCLUSÃO

De acordo com Ferraz, 2008, a exposição a ruídos acima dos aceitáveis, além de causar inúmeros incômodos aos usuários, podem afetar a saúde do sono e do bem-estar. Ademais, essa exposição por períodos prolongados pode causar efeitos psicofisiológicos como estresse e hipertensão.

Contudo, essa pesquisa não procurou a eliminação dos ruídos por completo, visto que o silêncio absoluto pode chegar a ser tão perturbador quanto um ambiente barulhento. A intenção foi encontrar materiais e métodos que tornem a convivência dos usuários mais tranquila, onde possam trabalhar, descansar e viver sem esses incômodos constantes, não desenvolvendo os problemas citados anteriormente e tendo assim um ambiente mais saudável para as tarefas do dia a dia.

Nesse trabalho foi realizada a coletânea de trabalhos que realizaram ensaios de tratamento acústico para diferentes configurações de piso flutuante e paredes em drywall. Vale esclarecer que os ensaios e as comparações realizadas atuam somente como exemplo, não sendo aconselhada a utilização desses valores em campo para a concepção de projetos.

Com isso, é preciso exaltar a importância de os projetistas analisarem os parâmetros de desempenho acústico exigidos por norma ainda nas fases de planejamento e estudarem quais as melhores opções para aquele caso específico. As especificações evitam transtornos futuros, visto que, ao fazer correções posteriores acabam sendo menos eficientes e extremamente desagradáveis.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1:2021** Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-3:2021** Edificações habitacionais - Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-4:2021** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10052**, Acústica – Medição em campo de isolamento a ruído aéreo e de impacto e de sons de equipamentos prediais – Método simplificado

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 16283-1**, Acústica – Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações – Parte 1: Isolamento a ruído aéreo

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BRIDA, G. B. de. **Desempenho Do Isolamento Acústico No Sistema De Pisos Com Aplicação Da NBR 15575: Estudo De Caso**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). Palhoça, Santa Catarina, 2018.

BRONDANI, S. A. **Pisos flutuantes: análise da performance acústica para ruídos de impacto**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 1999.

CATAI, R. E.; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, P. F. Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17.; 2006, Foz do Iguaçu, **Anais** [...]. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006. p. 4205-4216.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica**. Brasília: Ed. Thesaurus, 2006.

CBIC. **Brasil adota novos padrões de qualidade para construção de casas e apartamentos**, 2013. Disponível em: <https://cbic.org.br/brasil-adota-novos-padroes-de-qualidade-para-construcao-de-casas-e-apartamentos/> Acesso em: 11 nov. 2021.

CBIC. **Emendas à Norma de Desempenho revisam conteúdo do “Desempenho Térmico”**, 2021. Disponível em: <https://cbic.org.br/inovacao/2021/04/05/emendas-a-norma-de-desempenho-revisam-conteudo-do-desempenho-termico-3/> Acesso em: 17 mar. 2022.

CONRAD, L. S. **Estudo comparativo entre diversos revestimentos para pisos quanto ao isolamento do ruído de impacto**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2002.

FERRAZ, R. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008.

FERNANDES, A. P. S. **Ruído Ocupacional: Avaliação de Ruído** - Estaleiro Central da SETH, SA. 2013. Dissertação de Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho - Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, Portugal, 2013.

FERNANDES, Diana *et al.* EFICIÊNCIA ACÚSTICA: LÃ DE VIDRO E DE LÃ DE ROCHA COMO ISOLANTES PARA O SISTEMA DRYWALL. **Anais da Engenharia Civil / 2595-1823**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 115 - 129, abr. 2018. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/ENGCIVIL/article/view/154>. Acesso em: 19 abr. 2022.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: Ed. NR, 2000.

HEIDEMANN, A. M., CÂNDIDO A. P. L., KOSOUR C., COSTA A. R. O., DRAGOSAVAC D., **Influência do nível de ruídos na percepção do estresse em pacientes cardíacos**. UNICAMP, Campinas, São Paulo, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – **ISO 717-1**
Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – **ISO 717-2**
Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation

LAMOUNIER, M. M. **CrITÉrios para Seleção de Materiais Acústicos Utilizados em Recintos Fechados para Diferentes Tipologias**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais 2008.

LIMA, R. F. de. **Técnicas, Métodos e Processos de Pr** (Programa de Pós-graduação em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2013.

MEDEIROS, P. R. S. **Forros em Gesso Acartonado: Combinações de Utilização e Desempenho como Isolantes Acústicos para Ruído de Impacto**. 2003. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2003.

MÉNDEZ, A., STORNINI, A. J., SALAZAR, E. B. **Acústica arquitetônica**. Buenos Aires: UMSA, 1994.

Mercado livre. **Manta acústica 8mm bobina 13m² largura 1,30m 10m comprimento**. 2022. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1875215886-manta-acustica-8mm-bobina-13m-largura-130m-10m-comprimento-_JM?matt_tool=18956390&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic. Acesso em: 25 mar. 2022.

Mercado livre. **13m² Mnta Acústica 5 Mm Com Frete Para Rio De Janeiro**. 2022. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1875214045-13m-mnta-acustica-5-mm-com-frete-para-rio-de-janeiro-_JM#reco_item_pos=0&reco_backend=machinalis-seller-items-pdp&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=8a4c0acf-ee2d-455b-af02-1cbe785733d3. Acesso em: 25 mar. 2022.

Mercado livre. **16 Placas Isopor T3 tipo 3 Espes 2,5cm 100cm x 50cm x 2,5cm**. 2022. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1750358962-16-placas-isopor-t3-tipo3-espes-25-cm-100cm-x-50cm-x-25cm-_JM?matt_tool=18956390&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic. Acesso em: 25 mar. 2022.

OLIVEIRA, N. F. **Avaliação acústica de salas de aula de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Construção) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo 2006.

OGAWA, M. O. A.; ÁVILA, M. C. e RASSI, P. F. **Isolamento acústico ao ruído de impacto em lajes de edifícios habitacionais**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Goiás, 2014.

PEDROSO, M. A. T. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007

Portal da acústica. **Manta para laje 1,20m x 10m – Espessura 5mm – Rolo com 12m**. 2022. Disponível em: https://www.portaldaacustica.com.br/produto/121/manta-para-laje-120m-x-10m-espessura-5mm-rolo-com-12m?gclid=CjwKCAjw0a-SBhBkEiwApljU0kGPV72hRd4H-tZX4tN3Cbrqg5mXlu3kmBo9aZ-ZJMRITq5fR9s8URoC3KkQAvD_BwE. Acesso em: 25 mar. 2022.

Portal da acústica. **Painel de lã de vidro 1200 x 1200 x 15 mm**. 2022. Disponível em: https://www.portaldaacustica.com.br/produto/104/painel-la-de-vidro-optima-piso-1200-x-1200-x-15-mm?gclid=CjwKCAjw0a-SBhBkEiwApljU0gMPja-Efl5PxmGOBQPLbOJ78Q-FgPK95JqoM7Y_sdnfQyCj9hMWBROCaKAQAvD_BwE. Acesso em: 25 mar. 2022.

PROACÚSTICA. **Manual Proacústica de Recomendações Básicas para Contrapiso Flutuantes**, São Paulo, 2015.

RUSSI, D. W. Estudo de caso de desempenho acústico, de sistema de vedação vertical (SVV) e sistema de piso (SVP). 2015. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

SERRANO, P. **Ruído de Impacto: diagnósticos, estudos e soluções**. Portal Acústica. Florianópolis, 24 dez. 2018. Disponível em: <https://portalacustica.info/ruído-de-impacto-diagnostico-estudos-e-solucoes/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

SOUZA, L.; ALMEIDA, M.; BRAGANCA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. São Carlos, SP: Ed. UFSCar, 2006

Terac. Placa de Poliuretano expandida dens. 32kgs esp. 25mm (m2). 2022. Disponível em: <https://www.terac.com.br/poliuretano/placas/placa-de-poliuretano-expandida-dens-32kgs-esp-25mm-m2?parceiro=8530>. Acesso em: 25 mar. 2022.

Terac. Manta lã de rocha com tela (MIT) dens. 64 x 50mm (Rolo). 2022. Disponível em: https://www.terac.com.br/la-de-rocha/manta-industrial/manta-com-tela-dens-64-x-50mm-rolo?parceiro=8530&gclid=Cj0KCQjwmPSSBhCNARIsAH3cYgYHZeWr_5fbUeAHb_6GEBUQ8hi6_LOuIXyClkDz4_Y4qj1oENzQipUaAjRZEALw_wcB. Acesso em: 25 mar. 2022.