

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARIA LAURA BOLÇONE

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM HOTEL COM PAREDES EM
DRYWALL: ESTUDO DE CASO**

GUARAPUAVA

2023

MARIA LAURA BOLÇONE

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM HOTEL COM PAREDES EM
DRYWALL: ESTUDO DE CASO**

**EVALUATION OF THE ACOUSTIC PERFORMANCE OF A HOTEL WITH
DRYWALL WALLS: A CASE STUDY**

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).
Orientador(a): Rodrigo Scoczynski Ribeiro.

GUARAPUAVA

2023



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

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

MARIA LAURA BOLÇONE

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM HOTEL COM PAREDES EM
DRYWALL: ESTUDO DE CASO**

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: 27/setembro/2023

Rodrigo Scoczynski Ribeiro
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Camila Isaton
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fernanda Aparecida Henneberg
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2023

Dedico este trabalho à minha família, por todo o apoio durante toda a minha graduação e existência.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que me apoiaram e estiveram ao meu lado durante a jornada da graduação.

O meu mais sincero agradecimento vai para minha mãe, Maristela, por todo amor e carinho, por vibrar junto a mim todas minhas vitórias, me ajudar e escutar sempre, mesmo que a quilômetros de distância.

Agradeço ao meu pai, Marcos, que sempre esteve presente, oferecendo seu amor, companheirismo, incentivo, e um suporte incondicional. Agradeço a oportunidade de realizar meu sonho, sem seu apoio e encorajamento essa conquista não seria possível.

Também desejo agradecer às minhas queridas amigas da graduação, Stefanny e Isis. Através de nossas discussões, compartilhamento de ideias e horas de estudo conjunto, vocês foram uma fonte de inspiração e motivação ao longo desse caminho acadêmico. Sou grata pela amizade e pelo apoio mútuo que sempre tivemos.

Não posso deixar de agradecer ao meu namorado, João Lucas. Sua paciência, compreensão e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse enfrentar os desafios e seguir em frente. Obrigada por acreditar em mim e por estar sempre presente, me motivando a dar o meu melhor.

Agradeço a todos os meus professores, em especial, ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória. E a todos meus colegas de classe e demais familiares e amigos que estiveram ao meu lado nessa jornada, meu profundo agradecimento. Seu apoio e encorajamento fizeram toda a diferença.

Por fim, gostaria de agradecer à instituição de ensino pela oportunidade de realizar este trabalho e por todo o conhecimento adquirido ao longo do curso. Serei imensamente grata por ter tido essa experiência enriquecedora.

A todos vocês, meu sincero agradecimento. Sem o apoio e o carinho de cada um, eu não teria alcançado este marco em minha vida acadêmica. Obrigada por fazerem parte dessa conquista.

"Em seu coração, a engenharia é sobre usar a ciência para encontrar soluções criativas e práticas. É uma profissão nobre".
(Rainha Elizabeth II)

RESUMO

BOLÇONE, Maria Laura. **Avaliação do desempenho acústico de um hotel com paredes em *drywall***: estudo de caso. 2023. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2023.

O crescimento urbano acelerado e a expansão da indústria têm levado ao desenvolvimento de um número cada vez maior de hotéis em áreas urbanas. Paralelamente, os estabelecimentos enfrentam desafios relacionados ao ruído excessivo, e o aumento a exposição de ruídos externos. Com o objetivo de estabelecer critérios mínimos de desempenho em relação ao conforto ambiental, a ABNT NBR 15575:2021, aborda questões como isolamento acústico em relação às paredes internas e externas e aos pisos de edificações. Dessa forma, este estudo tem como objetivo analisar o isolamento acústico em um hotel na cidade de Guarapuava, Paraná. Foi realizada uma análise do sistema de isolamento interno entre paredes e do sistema de isolamento entre duas unidades independentes localizadas uma sobre a outra. O foco da pesquisa é o ruído aéreo, assim, analisou-se o sistema de vedação vertical de paredes de *drywall* e o sistema de vedação horizontal entre dois apartamentos, separados por laje de concreto. Um estudo detalhado foi seguido para avaliar a qualidade acústica dos ambientes de interesse, seguindo os critérios normativos estabelecidos. Foram coletados dados relacionados aos níveis de pressão sonora, considerando fontes internas em diferentes posições, para determinar a magnitude do ruído ambiente presente em cada local analisado. Além disso, também foram registrados os tempos de reverberação em cada cômodo, avaliando a capacidade de absorção sonora e controlada do som. Utilizando algoritmo na linguagem de programação R, a média energética foi mostrada para representar a energia média sonora presente em cada ambiente. Essa análise permitiu uma visão mais detalhada da distribuição e intensidade do som. O índice de isolamento acústico foi então determinado, levando em consideração os dados coletados. Após a análise dos dados obtidos, foi verificado que todos os cômodos examinados atendem aos critérios mínimos exigidos pela norma aplicável para ambos os sistemas de isolamento analisados.

Palavras-chave: desempenho acústico, ruído aéreo, *drywall*, conforto acústico.

ABSTRACT

The accelerated urban growth and the expansion of industry have led to the development of an increasing number of hotels in urban areas. At the same time, establishments face challenges related to excessive noise, and increasing exposure to external noise. With the aim of establishing minimum performance criteria in relation to environmental comfort, ABNT NBR 15575 addresses issues such as acoustic insulation in relation to internal and external walls and building floors. Thus, this study aims to analyze the acoustic insulation in a hotel in the city of Guarapuava, Paraná. An analysis of the internal insulation system between walls and the insulation system between two independent units located on top of each other was carried out. The focus of the research is air noise, so we analyzed the vertical sealing system of *drywall* walls and the horizontal sealing system between two apartments, separated by concrete sheet. A detailed study was followed to evaluate the acoustic quality of the environments of interest, following the established normative criteria. Data related to noise pressure levels were collected, considering internal sources at different positions, to determine the magnitude of ambient noise present in each environment analyzed. In addition, the reverb times in each room were also recorded, evaluating the sound absorption capacity and controlled sound. Using R-code programming, the energy average was shown to represent the average sound energy present in each environment. This analysis allowed a more detailed view of the distribution and intensity of sound. The acoustic insulation index was then determined, considering the data collected. After the analysis of the data obtained, it was ensured that all examined rooms meet the minimum criteria required by the applicable standard for both isolation systems analyzed.

Keywords: acoustic performance, air noise, *drywall*, acoustic comfort.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação física das ondas sonoras	20
Figura 2 – Representação física das ondas de ruído	21
Figura 3 - Ruído Aéreo	22
Figura 4 - Princípio de medição do nível de pressão sonora de impacto	23
Figura 5 - Ruído branco e ruído rosa passando por filtros	24
Figura 6 - Curva de decaimento do nível de pressão sonora com o tempo.....	27
Figura 7 - Decaimento da pressão sonora por meio do método do ruído interrompido	28
Figura 8 - Planta baixa primeiro pavimento	41
Figura 9 - Ambiente de emissão e recepção - Análise Vertical	41
Figura 10 - Ambiente de recepção - Análise horizontal	42
Figura 11 - Sistema construtivo paredes internas.....	42
Figura 12- Algoritmo escrito na linguagem de programação R para plotagem de gráfico de diferença de nível da parede de divisa	83
Figura 13 – Algoritmo escrito na linguagem de programação R para plotagem de gráfico de diferença de nível da laje.....	86
Figura 14 - Certificado de calibração Termo Higro Barômetro THB-100 Instrutherm	89
Figura 15 - Certificado de calibração de pressão Termo Higro Barômetro.....	90
Figura 16 - Certificado de calibração do sonômetro 2250 Brüel & Kjær	91
Figura 17 - Certificado de calibração do microfone capacitivo 4189 Brüel & Kjær	92
Figura 18 - Certificado de calibração do calibrador 4231 Brüel & Kjær.....	93
Fotografia 1 - Sonômetro 2250 Brüel & Kjær classe 1	36
Fotografia 2 - Microfone 1/2" 4189 Brüel & Kjær	37
Fotografia 3 – Calibrador 4231 Brüel & Kjær classe 1	37
Fotografia 4 – Amplificador FA501 Hypex.....	38
Fotografia 5 – Fonte sonora omnidirecional.....	38
Fotografia 6 – Termo-higro-barômetro	39
Quadro 1 - Valores de referência	31
Quadro 2 - Classificações de valor único para isolamento a ruído aéreo em edificações.....	32
Quadro 3 - Termo de adaptação de espectro para diferentes tipos de ruído.....	33
Quadro 4 – Critério e nível de desempenho mínimo, $D_{nT,w}$ de isolamento á ruído aéreo de vedações internas	34
Quadro 5 – Critério e nível de desempenho mínimo, D_{nTw} , de isolamento á ruído aéreo em sistemas de pisos.....	34
Quadro 6 - Descritores para tempos de reverberação	48
Quadro 7 - Análise de incertezas nas medições.....	53
Gráfico 1 - Desempenho acústico da laje "apartamento 257" com $T_{20,int}$	48
Gráfico 2 - Desempenho acústico da laje "apartamento 257" com $T_{20,imp}$	49
Gráfico 3 - Desempenho acústico da laje "apartamento 257" com $T_{30,int}$	49

Gráfico 4 - Desempenho acústico da laje "apartamento 257" com $T_{30,imp}$.....	50
Gráfico 5 - Desempenho acústico da parede "apartamento 157" com $T_{20,int}$	51
Gráfico 6 - Desempenho acústico da parede "apartamento 157" com $T_{20,imp}$	51
Gráfico 7 - Desempenho acústico da parede "apartamento 157" com $T_{30,int}$	52
Gráfico 8 - Desempenho acústico da parede "apartamento 157" com $T_{30,imp}$	52
Gráfico 9 - Condições climáticas durante as medições.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de emissão do nível de pressão sonora no apartamento 159, fonte na posição 1 e 2.....	59
Tabela 2 - Dados de recepção do nível de pressão sonora no apartamento 157, fonte na posição 1 e 2.....	59
Tabela 3 - Tempo de reverberação para fonte 1 e 2, T20,int.....	62
Tabela 4 - Tempo de reverberação para fonte 1 e 2, T30,int.....	62
Tabela 5 - Tempo de reverberação para fonte 1 e 2, T20,imp.....	65
Tabela 6 - Tempo de reverberação para fonte 1 e 2, T30,imp.....	65
Tabela 7 - Resultados de desempenho acústico da parede "apartamento 157".....	68
Tabela 8 - Dados de emissão do nível de pressão sonora no apartamento 157, fonte sonora na posição 1 (F1) e 2 (F2).....	70
Tabela 9 - Dados de recepção do nível de pressão sonora no apartamento 257, fonte sonora na posição 1 (F1) e 2 (F2).....	70
Tabela 10 - Ruído de fundo Apartamento 157, sala de recepção.....	73
Tabela 11 - Correções conforme análise do ruído de fundo do sistema vertical, fonte 1.....	74
Tabela 12 - Correções conforme análise do ruído de fundo do sistema vertical, fonte 2.....	74
Tabela 13 - Ruído de fundo Apartamento 257, sala de recepção.....	77
Tabela 14 - Correções conforme análise do ruído de fundo do sistema horizontal, fonte 1.....	78
Tabela 15 - Correções conforme análise do ruído de fundo do sistema horizontal, fonte 2.....	78
Tabela 16 - Resultados de desempenho acústico da laje "apartamento 257" ...	81
Tabela 17 - Condições climáticas aferidas por barômetro.....	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
NPS	Nível De Pressão Sonora
OMS	Organização Mundial Da Saúde
dB	Decibéis
D_{nT}	Diferença De Nível Padronizada
D_{nTw}	Diferença De Nível Padronizada Ponderada
TR	Tempo De Reverberação
TL	Perda de transmissão (transmission loss)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização e delimitação do tema.....	15
1.2	Objetivo geral.....	17
1.3	Objetivos específicos.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Acústica em Hotéis	18
2.2	Referência normativa	19
2.2.1	Requisitos de desempenho	19
2.3	Principais Conceitos Acústicos	19
2.3.1	Som	19
2.3.2	Ruído	20
2.3.3	Ondas Sonoras.....	21
2.3.4	Frequência.....	21
2.3.5	Ruído Aéreo	21
2.3.6	Ruído de Impacto	22
2.3.7	Ruído de Fundo.....	23
2.3.8	Ruído Rosa.....	24
2.4	Bandas de Frequência	24
2.5	Nível de Pressão Sonora	25
2.6	Tempo de Reverberação	26
2.7	Método do Ruído Interrompido	27
2.8	Método de Resposta Impulsiva Integrada	28
2.9	Diferença de Nível	28
2.10	Diferença de Nível Padronizada	29
2.11	Diferença de Nível Padronizada Ponderada	30
2.12	Valores de referência para ruído aéreo	30
2.13	Determinação do índice único de isolamento a ruído aéreo	31
2.14	Espectros de adaptação - C e Ctr	32
2.15	Critérios Mínimos de Avaliação	33
2.16	Lei da Massa	35
3	METODOLOGIA	36
3.2	Materiais	36
3.3	Métodos	40

3.3.1	Caracterização dos ambientes	40
3.3.2	Metodologia para Medição de Nível de Pressão Sonora	43
3.3.3	Cálculo das médias energéticas do procedimento-padrão	44
3.3.4	Correções para o ruído de fundo.....	44
3.3.5	Incertezas das medições	45
4	DISCUSSÃO E RESULTADOS	46
4.1	Avaliação dos critérios acústicos quantitativos.....	46
4.1.1	Análise do Sistema Horizontal de Isolamento	47
4.1.2	Análise do Sistema Vertical de Isolamento.....	50
4.1.3	Análise das incertezas nas medições.....	53
5	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	54
6	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS.....	56
	APÊNDICE A - Dados fornecidos pelo sonômetro para medição entre os apartamentos 157 e 159, divisa em parede de <i>drywall</i>.....	58
	APÊNDICE B - Tempo de reverberação pelo método do ruído interrompido ..	61
	APÊNDICE C - Tempo de reverberação pelo método da resposta impulsiva integrada	64
	APÊNDICE D - Resultados conforme metodologias descritas para desempenho do sistema de vedação vertical.....	67
	APÊNDICE E - Dados fornecidos pelo sonômetro entre os apartamentos 157 e 257, divisão feita por laje de concreto armado.....	69
	APÊNDICE F - Dados de ruído de fundo para análise do sistema vertical	72
	APÊNDICE G - Dados de ruído de fundo para análise do sistema horizontal .	76
	APÊNDICE H - Resultados conforme metodologias descritas para desempenho do sistema de vedação horizontal	80
	APÊNDICE I - Algoritmo escrito na linguagem de programação R para interpretação gráfica dos dados das paredes	82
	APÊNDICE J - Algoritmo escrito na linguagem de programação R para interpretação gráfica dos dados das lajes	85
	ANEXO A - Calibração dos instrumentos de medição.....	88
	ANEXO B - Condições climáticas aferidas por barômetro.....	94

1 INTRODUÇÃO

O desempenho acústico é um elemento essencial a ser considerado durante o planejamento e construção de uma edificação. A qualidade do ambiente sonoro em edifícios desempenha um papel fundamental no bem-estar e no conforto dos usuários, tendo um impacto direto na sua saúde, produtividade e qualidade de vida. Nesse contexto, torna-se fundamental a análise do desempenho acústico em edificações, de modo a contribuir com a satisfação dos ocupantes.

1.1 Contextualização e delimitação do tema

O crescimento urbano acelerado a expansão da indústria e a demanda têm levado ao desenvolvimento de um número cada vez maior de hotéis em áreas urbanas. No entanto, muitos desses estabelecimentos enfrentam desafios relacionados ao desempenho acústico, devido à proximidade de vias movimentadas, áreas de entretenimento ou outras fontes de ruído.

O desenvolvimento das áreas urbanas e o adensamento das cidades levaram a um aumento significativo da exposição ao ruído ambiental. O ruído proveniente do tráfego, das atividades industriais e de outras fontes urbanas tem se tornado uma preocupação cada vez mais evidente impactando negativamente a saúde, o bem-estar das pessoas

Segundo Nering *et. al* (2022, p. 03) o ruído é um fenômeno que causa fadiga e cansaço em todo o organismo, principalmente nos órgãos auditivos e tem efeitos adversos não auditivos. Estudos têm mostrado que o efeito indutor de estresse proveniente de ruídos pode contribuir para o desenvolvimento de doenças do sistema digestivo, como úlcera péptica, doenças cardiovasculares, como hipertensão arterial, e reações neuróticas. Além disso, o ruído pode perturbar o sono, afetar a concentração, reduzir a capacidade intelectual e causar fadiga e ansiedade. É importante ressaltar que o impacto negativo do ruído depende de sua intensidade, natureza e duração.

Outro fator importante é o avanço da legislação e das normas técnicas relacionadas ao desempenho acústico das edificações, com sua primeira publicação em 2013, a ABNT NBR 15575 passou por algumas modificações, e até o presente, consta com a sua quinta edição. Segundo Pozzer (2018), novas diretrizes mais rígidas foram desenvolvidas para controle de ruído em diferentes tipos de edifícios, como

residenciais, comerciais e institucionais, aumentando a atenção e o investimento na concepção e construção de edificações com bom desempenho acústico, de modo a garantir o cumprimento dos requisitos legais.

Além disso, a percepção do usuário sobre a qualidade sonora do espaço torna-se mais importante. Em ambientes como escritórios, salas de aula, hotéis e outros locais de entretenimento, a clareza na comunicação, o foco no trabalho e o conforto durante as atividades de lazer são fatores críticos.

Por fim, os avanços tecnológicos e as novas técnicas de medição e simulação proporcionaram uma melhor compreensão dos fenômenos acústicos e possibilitaram a criação de soluções mais eficientes. Essas ferramentas permitem uma análise mais precisa do desempenho acústico de uma edificação em diferentes possibilidades do projeto, facilitando a identificação de problemas e a implementação de estratégias para melhorar a qualidade sonora.

A pesquisa e padronização do isolamento acústico em edifícios vem ocorrendo há décadas, com importantes contribuições feitas na década de 1950 por Lothar Cremer (1942) na Alemanha e Albert London (1950) nos Estados Unidos. No entanto, com o tempo, comportamentos, hábitos e expectativas mudam, assim como as fontes de ruído, tornando-se cada vez mais altas e com uma ampla faixa de frequência.

O isolamento acústico se divide em duas categorias: insonorização aérea, que lida com fontes de ruído aéreo dentro ou fora de um edifício; e insonorização estrutural, que lida com fontes sonoras localizadas dentro da estrutura do edifício. Entender essas diferentes formas de isolamento acústico é fundamental para garantir um ambiente acusticamente adequado.

A ciência da acústica de ambientes originou-se do trabalho pioneiro de Wallace C. Sabine, realizado por volta de 1896-1900. Sabine desenvolve modelos teóricos e métodos de cálculo para o tempo de reverberação, bem como o primeiro método de medição (RINDEL, 2018).

Ainda segundo Rindel (2018), embora a consciência da importância do isolamento acústico tenha aumentado no início do século XX, os modelos teóricos e métodos de cálculo disponíveis eram simples e insuficientes. A importância do isolamento acústico em grandes edifícios monolíticos foi reconhecida e foi determinado que paredes completamente independentes eram necessárias para obter alto isolamento acústico.

Esses avanços na acústica foram fundamentais para a compreensão e o desenvolvimento de técnicas de controle e projeto de espaços acusticamente adequados.

1.2 Objetivo geral

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho acústico dos sistemas de vedação vertical e horizontal de um hotel na cidade de Guarapuava, Paraná.

O estudo seguirá as diretrizes da norma NBR ISO 16283-1 e avaliará a conformidade da norma, NBR 15575:2021, a qual define os requisitos mínimos de isolamento acústico para sistemas de vedações verticais internas e externas, sistemas de pisos, sistemas estruturais, sistemas de coberturas e para os sistemas hidrossanitários.

1.3 Objetivos específicos

Nesta seção, serão apresentados de maneira sucinta os objetivos específicos deste trabalho. Por meio desses objetivos, espera-se não apenas enriquecer o conhecimento existente sobre o desempenho acústico, mas também apresentar os tópicos diretores do estudo.

- Mensurar o isolamento acústico de um sistema de vedação vertical em *drywall*;
- Identificar o nível de isolamento de um sistema de vedação horizontal em concreto armado;
- Analisar os níveis de isolamento conforme a normativa vigente;
- Avaliar a aplicação da norma de desempenho para apartamentos de hotéis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem como objetivo elencar tópicos em relação a referência normativa de desempenho acústico, conceitos base para melhor compreensão, como som, tipos de ruído e tempo de reverberação. Em última instância, contextualizar as normas brasileiras para isolamento acústico utilizadas para concepção e análise.

2.1 Acústica em Hotéis

Segundo Nering (2022), existem várias fontes possíveis de ruído e vibrações em quartos de hotel, como casas noturnas e bares dentro do hotel, restaurantes próximos, hóspedes em quartos adjacentes (por exemplo, ronco excessivo e televisores muito altos), distúrbios e passos nos corredores, estradas, ferrovias e tráfego fora do hotel, e equipamentos como ar-condicionado.

A variedade de ruídos pode ser dividida em dois problemas principais: ruído externo e ruído interno. O ruído interno é normalmente causado por seres humanos, eletrodomésticos, dispositivos eletrônicos etc. O ruído externo ou ruído ambiental pode provir da atividade dos veículos, como o tráfego rodoviário, e a atividade de aviões (KUSUMA, 2015).

Ainda segundo Nering (2022) os hóspedes esperam limpeza e ordem, mas também conforto acústico, que lhes permita acalmar e relaxar da agitação da vida cotidiana. O silêncio torna-se um luxo em determinados momentos. Ao procurar um lugar para relaxar, os hóspedes do hotel são guiados não apenas pela ampla seleção de atrações no local, mas também pelo desejo de garantir que o local para onde estão indo lhes proporcione um descanso tranquilo e sem ruídos.

Já para Matviiyk e Sobin (2019), atualmente para a maioria dos hotéis modernos um dos principais requisitos funcionais é proporcionar um ambiente acústico confortável, e as propriedades acústicas do ambiente afetam significativamente a natureza da reprodução do som. Sendo assim, eles afirmam que um dos principais critérios acústicos para avaliar a qualidade acústica do ambiente é o tempo de reverberação, e ao garantir o tempo de reverberação ideal, juntamente com a utilização de materiais e designs acústicos modernos, cria-se uma absorção sonora adicional ao ambiente.

2.2 Referência normativa

A ABNT NBR 15575:2021 “Edificações habitacionais – Desempenho” e a ABNT NBR ISSO 16283-1 “Acústica — Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações” são fundamentais para compreender os critérios e parâmetros utilizados na avaliação do desempenho acústico de edificações e estabelecem os requisitos mínimos para o conforto acústico em diferentes ambientes, como residenciais, comerciais e industriais.

A ABNT NBR ISO 16283-1 é uma norma brasileira, a qual trata da medição dos níveis de pressão sonora em ambientes internos e externos, com o objetivo de avaliar o desempenho acústico de edificações. A primeira parte da norma especifica os procedimentos de medição em ambientes internos e estabelece os requisitos técnicos para a realização de controles de ruído emitido por fontes em edificações. Ela aborda parâmetros de medição, instrumentação, procedimentos de medição, avaliação dos resultados e apresentação dos dados de medição.

2.2.1 Requisitos de desempenho

A norma ABNT NBR ISO 16283, apresenta os procedimentos para realização de medições de campo de isolamento acústico em edificações, abrangendo isolamentos a ruído aéreo, de impacto e nas fachadas, respectivamente nas partes ISO 16283-1, ISO 16283-2 e ISO 16283-3.

Os requisitos de desempenho na norma ABNT NBR ISO 16283-1 são importantes para garantir que as medições de nível de pressão sonora sejam mantidas e precisas. A precisão do nível de pressão sonora é fundamental para avaliar os efeitos do ruído na saúde e no bem-estar humano, bem como para determinar a conformidade com os limites de ruído emitidos por regulamentos e normas de medição ambiental.

2.3 Principais Conceitos Acústicos

2.3.1 Som

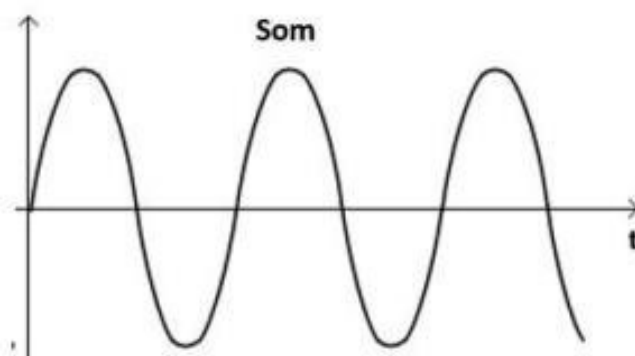
Segundo Bistafa (2018), som pode ser definido como um tipo de energia que se propaga no ar e em outros meios elásticos, produzido pela vibração de uma fonte sonora. Ele destaca que essa vibração gera uma perturbação mecânica no meio em

que se propaga, que se manifesta como variações de pressão em relação ao ar ambiente, criando uma onda sonora audível pelo ouvido humano (BISTAFA, 2018).

Segundo Castro (2018), O som é um fenômeno que se caracteriza por sua uniformidade, tendo sua origem na vibração de um objeto e causando a vibração das partículas do meio em que se propaga. É uma forma de energia que pode ser percebida pelo ouvido humano. O som é resultado de vibrações sonoras regulares, que se repetem em ciclos, criando uma sequência de ondas sonoras. Essas ondas sonoras podem provocar sensações agradáveis, como música e harmonia.

Rumsey e McCormick (2006) afirmam que o som é uma fonte vibrante, é produzido quando um objeto (a fonte) vibra e faz com que o ar ao seu redor se mova, a representação da vibração do som está exemplificada na figura 1.

Figura 1 – Representação física das ondas sonoras



Fonte: CASTRO, A. Conforto ambiental: acústico e lumínico, 2018.

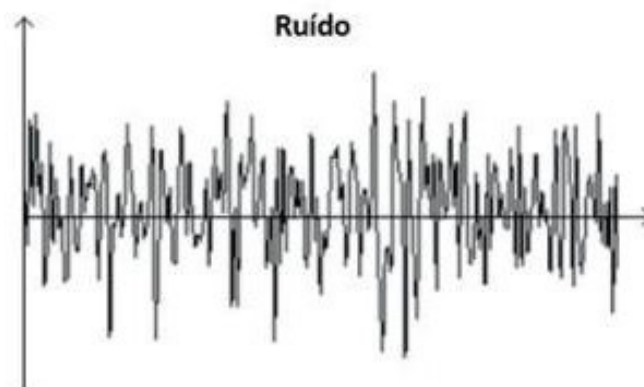
2.3.2 Ruído

De acordo com Bistafa (2018) ruído é definido como qualquer som indesejável, que pode prejudicar a audição, a comunicação, o repouso e o desempenho humano em geral.

Os ruídos podem ser classificados em diversos tipos, dependendo da sua fonte, frequência e intensidade. Alguns exemplos incluem o ruído aéreo, o ruído de impacto e o ruído residual ou ruído de fundo.

O ruído aéreo é gerado por fontes que causam ondas sonoras no ar, como equipamentos de som, tráfego de veículos e aeronaves. Já o ruído de impacto é gerado por fontes que afetam mecanismos mecânicos, decorrente de uma percussão sobre um sólido como marteladas e batidas em objetos (CASTRO, 2018).

Figura 2 – Representação física das ondas de ruído



Fonte: CASTRO, A. Conforto ambiental: acústico e lumínico, 2018.

2.3.3 Ondas Sonoras

Segundo Castro (2018), a origem da formação das ondas sonoras são as oscilações acústicas transmitidas através do ar devido a mínimas flutuações geradas na pressão atmosférica.

Carvalho (2006), afirma que as ondas sonoras são os resultados das oscilações das moléculas do meio de propagação, em torno da sua posição de equilíbrio.

2.3.4 Frequência

Segundo Rumsey e McCormick (2006), frequência é a taxa na qual a onda sonora da fonte oscila, é expressa em hertz (Hz) ou ciclos por segundo (cps).

Carvalho (2006) afirma, que quando exercida uma pressão em um meio elástico ocorrem oscilações cíclicas de pressão/depressão, em intervalos de tempo. A frequência é então o número de oscilações (ou ciclos) por unidade de tempo.

2.3.5 Ruído Aéreo

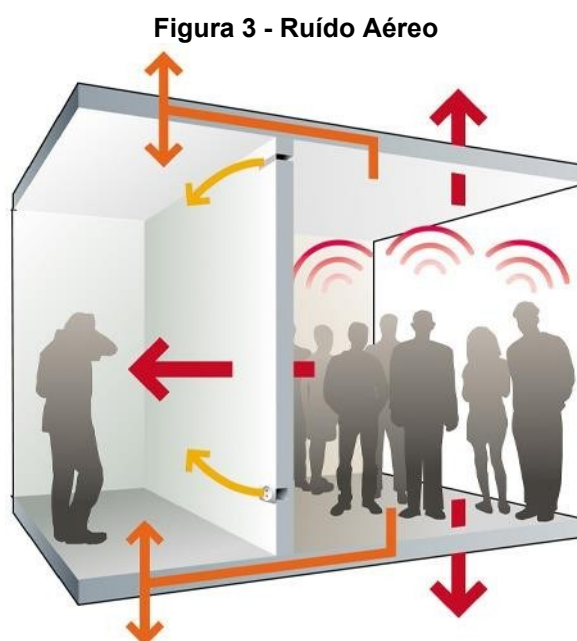
O ruído aéreo é um tipo de ruído que é gerado por fontes que transmitem ondas sonoras no ar, como o tráfego de veículos, aeronaves, sistemas de som, vozes, entre outros (CASTRO, 2018).

De acordo com Bistafa (2018), o ruído aéreo é caracterizado por apresentar uma distribuição espectral de energia que se concentra em uma faixa de frequência entre 100 Hz e 4 kHz. Essa faixa de frequência é considerada a mais crítica para a

percepção do ruído aéreo e pode ser agravada em locais onde há reflexões sonoras, como salas vazias e guarda-corpos de edifícios.

Além disso, segundo Hopkins (2012) o ruído aéreo pode ser definido em dois tipos: direto e indireto. O campo sonoro direto é gerado por fontes sonoras que estão no mesmo ambiente em que o receptor se encontra, enquanto o campo sonoro indireto é gerado por fontes sonoras externas ao ambiente e que se propagam através de paredes, janelas e outras estruturas, o campo sonoro indireto está representado na figura 3.

Para controlar o ruído aéreo, é possível adotar diversas estratégias, como isolamento acústico de paredes, janelas e portas, e uso de materiais acústicos absorventes, dentre outras.



Fonte: Adaptado Revista AdNormas (2023)

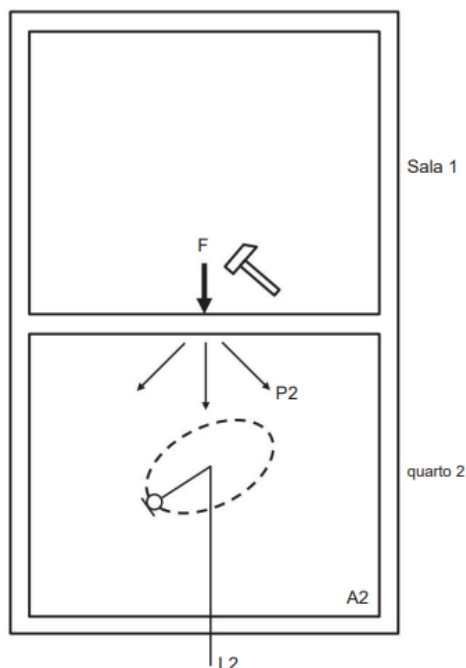
2.3.6 Ruído de Impacto

O ruído de impacto é um tipo de ruído que é gerado por impactos mecânicos em superfícies sólidas, como o contato de sapatos com o chão, queda de objetos e impactos de móveis.

De acordo com Bistafa (2018), o ruído de impacto é caracterizado por apresentar uma distribuição espectral de energia que se concentra em frequências mais baixas do que no ruído aéreo, geralmente abaixo de 100 Hz. Ele também pode ser agravado por características das estruturas do prédio, como a falta de isolamento acústico entre os pavimentos.

O controle do ruído de impacto pode ser realizado através da utilização de materiais com propriedades acústicas adequadas, como pisos flutuantes, revestimentos acústicos e juntas de dilatação. Além disso, a escolha de materiais para a construção do prédio também pode influenciar na quantidade de ruído de impacto gerado.

Figura 4 - Princípio de medição do nível de pressão sonora de impacto



Fonte: Rindel, JH. Isolamento acústico em edifícios, 2018.

2.3.7 Ruído de Fundo

Ruídos de fundo são ruídos que geralmente não podem ser removidos, que estão incorporados ao ambiente de forma intrínseca em ausência de fonte sonora de interesse. Em outras palavras, várias fontes de ruído, resultantes de atividades ocorrendo ao redor desse ambiente, estabelecem um nível sonoro mínimo neste espaço, que é conhecido como ruído de fundo (SOUZA et al., 2012).

Igualmente conhecido como ruído residual, o ruído de fundo origina-se do interior de um ambiente determinado, originado das atividades realizadas dentro dele (REZENDE et al., 2014).

Esse nível de pressão sonora pode variar de acordo com o tipo de ambiente e o horário do dia.

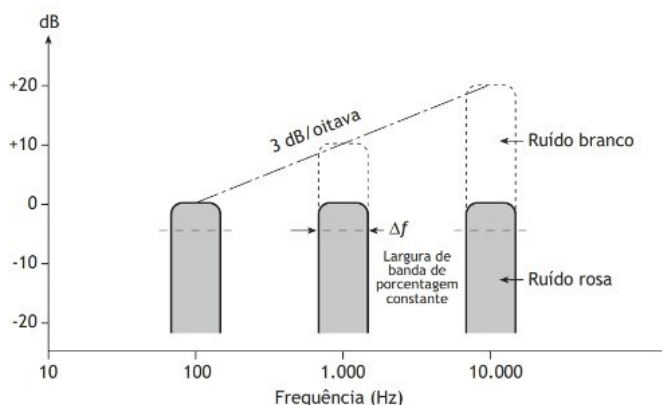
2.3.8 Ruído Rosa

O ruído rosa é um tipo de ruído que apresenta uma distribuição espectral de energia que é inversamente proporcional à frequência. Isso significa que ele tem energia igual em bandas de oitava consecutivas, o que o torna ideal para estudos em acústica, psicoacústica e processamento de sinais.

De acordo com Bistafa (2018), o ruído rosa é gerado por um processo de filtragem do ruído branco, que é um tipo de ruído que tem energia igual em todas as frequências. O ruído branco pode ser filtrado por um filtro que atenua as frequências mais altas, resultando no ruído rosa.

Por fim, Kinsler *et al.* (2007) afirmam que o ruído rosa é também conhecido como ruído de $1/f$, devido à sua distribuição espectral de energia que segue a relação inversa de $1/f$. Ele recebe esse nome porque a energia do ruído em uma dada banda de frequência é proporcional a $1/f$, onde f é a frequência central da banda.

Figura 5 - Ruído branco e ruído rosa passando por filtros



Fonte: Adaptado Bistafa (2018)

2.4 Bandas de Frequência

Bandas de frequência referem-se a faixas de frequência que são agrupadas de forma a facilitar a análise e o controle de sinais acústicos. Essas bandas são utilizadas em diversas aplicações na área de áudio e acústica, como em análises de resposta em frequência de sistemas de som e na equalização de áudio. As medições acústicas são geralmente feitas em bandas de frequência. A largura de banda é a diferença entre as frequências de limitação superior e inferior (RINDEL, 2018).

Segundo Bistafa (2018), as bandas de frequência são utilizadas em análises de ruído e vibração, sendo comum a utilização de bandas de 1/1 ou 1/3 de oitava. Isso significa que as bandas são divididas em frações de oitava, o que permite uma análise mais precisa das características do sinal.

De acordo com Harris (2011), as bandas de frequência são utilizadas na equalização de áudio, onde cada banda é ajustada individualmente para melhorar o desempenho do sistema de som. As bandas podem ser divididas em baixas, médias e altas, e cada uma delas é responsável por amplificar ou atenuar as frequências correspondentes.

Já para Rumsey e McCormick (2009), as bandas de frequência são utilizadas em análises de resposta em frequência de sistemas de som, onde a resposta do sistema é avaliada em relação à frequência. As bandas podem ser divididas em oitavas, terços de oitava, meia-oitava ou qualquer outra divisão necessária para a análise do sistema.

2.5 Nível de Pressão Sonora

O nível de pressão sonora (NPS) é uma medida quantitativa da intensidade do som, que indica o quanto um som é forte ou fraco. É uma medida fundamental na acústica, sendo utilizada em diversas aplicações, como na medição e controle de ruído ambiental, no projeto de salas acústicas e em estudos de audição auditiva induzida por ruído.

De acordo com Bistafa (2018), o nível de pressão sonora é medido em decibéis (dB) e é baseado em uma escala logarítmica. O som mais fraco perceptível pelo ouvido humano tem um nível de pressão sonora de cerca de 0 dB, enquanto o som mais forte que pode ser suportado sem causar danos à audição é de aproximadamente 120 dB.

Segundo Harris (2011), o nível de pressão sonora é frequentemente utilizado para avaliar a exposição humana ao ruído ambiental. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda um limite de exposição ao ruído de 85 dB durante oito horas para evitar a perda auditiva induzida por ruído.

Já para Roederer (2008), o nível de pressão sonora é uma medida objetiva do som, sendo que a percepção auditiva de uma pessoa pode variar com a frequência do som, sua duração e presença de outros sons no ambiente.

2.6 Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação (TR) é usado principalmente em acústica de salas, mas também pode ser usado em relação ao decaimento de vibrações livres (RINDEL, 2018). Por definição o tempo de reverberação, é uma medida da duração do som em um ambiente fechado após a fonte sonora ser desligada. É um importante parâmetro para o projeto de salas de espetáculos, estúdios de gravação, igrejas, entre outros espaços que exigem qualidade acústica.

De acordo com Bistafa (2018), o TR é influenciado pelas características do ambiente, como sua forma, tamanho, materiais de construção e conteúdo sonoro. Ele é medido em segundos e indica o tempo que leva para a intensidade do som cair 60 dB após o término da fonte sonora.

Já para Kuttruff (2016), o TR também pode ser utilizado para avaliar a inteligibilidade da fala em um ambiente. Em salas de aula e salas de conferência, um TR mais baixo é desejável para garantir que a fala seja clara e inteligível.

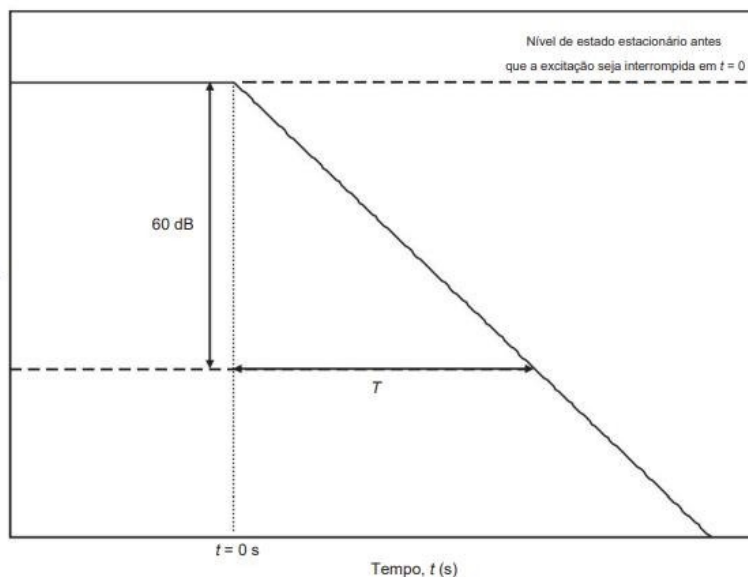
A ABNT NBR ISO 3382-1:2017, define tempo de reverberação como a duração requerida para a média espacial da densidade de energia sonora em um recinto decair 60 dB após a interrupção da emissão sonora, expresso em segundos.

É possível realizar a avaliação utilizando uma faixa dinâmica inferior a 60 dB, seguida da extrapolação para um tempo de decaimento equivalente a 60 dB. Nesse ponto, o parâmetro em análise é categorizado. Por exemplo, ao determinar "T" a partir do momento em que a curva de decaimento atinge, inicialmente, 5 dB e posteriormente 25 dB abaixo do ponto de partida, ele é designado como "T20". Caso

os valores de decaimento entre 5 dB e 35 dB abaixo do nível inicial sejam empregados, o parâmetro é identificado como "T30" (ABNT NBR ISO 3382-1:2017).

Por fim, o tempo de reverberação está relacionado ao tempo e à densidade energética. Ao ativar a fonte sonora, ocorre um aumento da densidade energética que, em seu aumento, se estabiliza em um nível sonoro constante. Por outro lado, ao desligar a fonte sonora, ocorre uma diminuição medida em 60 decibéis (60 dB) ao longo do tempo. O intervalo de tempo necessário para esse decréscimo é denominado Tempo de Reverberação (TR), conforme ilustrado na figura 6.

Figura 6 - Curva de decaimento do nível de pressão sonora com o tempo



Fonte: Adaptado de Hopkins (2012)

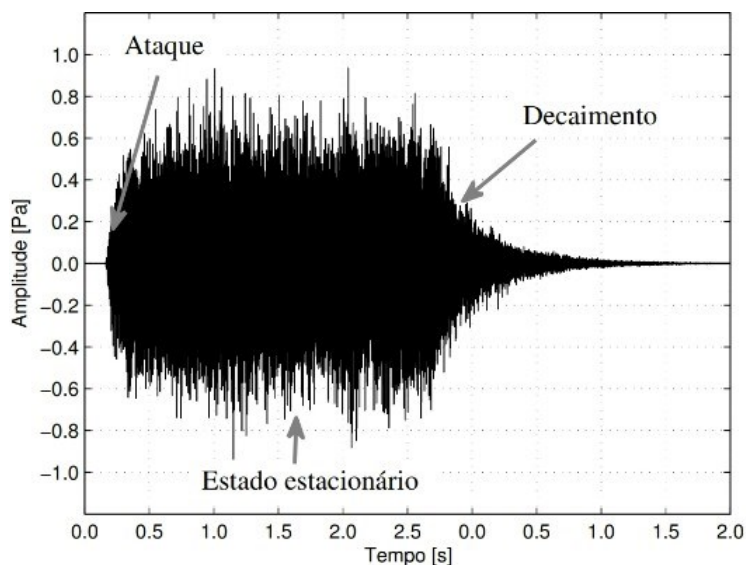
2.7 Método do Ruído Interrompido

O método do ruído interrompido é uma técnica utilizada para determinar o tempo de reverberação de um ambiente fechado. Ele consiste em emitir um ruído intenso e estável no ambiente, em seguida a excitação é interrompida, e é registrado o tempo de decaimento do som (HOPKINS, 2012).

Segundo Kuttruff (2016), o método do ruído interrompido é uma das técnicas mais comuns para medição do tempo de reverberação em grandes espaços. Ele é considerado mais confiável do que outros métodos, como a técnica do impulso, que requer equipamentos mais sofisticados.

Já para Beranek (2019), a precisão do método do ruído interrompido depende da qualidade da fonte sonora utilizada, da acústica do ambiente e da técnica de medição empregada. Ele recomenda o uso de fontes sonoras de boa qualidade e a realização de várias medições para garantir a precisão dos resultados.

Figura 7 - Decaimento da pressão sonora por meio do método do ruído interrompido



Fonte: Adaptado de Brandão (2016)

2.8 Método de Resposta Impulsiva Integrada

Esse método consiste em utilizar uma fonte impulsiva, que gera um ruído alto e de curta duração, para gerar um som inicial. Após essa impulsiva, um aparelho de medição é utilizado para registrar a ultrapassagem do nível de pressão sonora padrão. A partir desse momento, inicie-se a medição do decaimento do som.

“Método para obter curvas de decaimento a partir de integração reversa no tempo do quadrado das respostas impulsivas” (ABNT NBR ISO 3382-2:2017).

O processo de medição é interrompido quando o sonômetro detecta novamente o ruído de fundo do local, o que acontece automaticamente. O aparelho realiza uma integração reversa no tempo das respostas quadráticas impulsivas e, em seguida, apresenta as curvas de decaimento em relação ao tempo e aos tempos de reverberação no espectro de frequências (ABNT NBR ISO 16283-1:2018).

2.9 Diferença de Nível

A diferença de nível é um parâmetro acústico que indica a diferença entre dois níveis de pressão sonora em decibéis (dB).

Segundo a ABNT NBR 16283-1, a diferença de nível é definida como “diferença da média energética dos níveis de pressão sonora, em decibéis, entre a sala de emissão e a sala de recepção, com uma ou mais fontes sonoras na sala de emissão”

Existem diversas práticas aplicadas da diferença de nível, como a avaliação da eficácia de paredes e janelas para redução do ruído externo em ambientes internos, ou a comparação entre níveis de ruído em diferentes áreas de uma mesma instalação. É importante ressaltar que a diferença de nível não deve ser utilizada isoladamente como indicador de conforto acústico, devendo ser considerada juntamente com outros parâmetros.

Calculada utilizando a Equação 1:

$$D = L1 - L2$$

Equação 1

Onde,

L1 - é a média energética dos níveis de pressão sonora na sala de emissão, quando seu volume for maior ou igual a 25 m³, ou a média energética do nível de pressão sonora de baixa frequência (apenas bandas 50 Hz, 63 Hz e 80 Hz) na sala de emissão, quando o seu volume for inferior a 25 m³;

L2 - é a média energética dos níveis de pressão sonora na sala de recepção, quando seu volume for maior ou igual a 25 m³, ou a média energética dos níveis de pressão sonora de baixa frequência (apenas bandas 50 Hz, 63 Hz e 80 Hz) na sala de recepção, quando o seu volume for inferior a 25 m³.

2.10 Diferença de Nível Padronizada

A diferença de nível padronizada (D_{nT}) é uma medida utilizada na acústica para quantificar a diferença de intensidade sonora entre dois pontos em um ambiente. Ela é expressa em decibéis (dB) e leva em consideração o fato de que a percepção do ouvido humano varia com a frequência do som.

O D_{nT} é amplamente utilizado na avaliação de desempenho acústico de edifícios, como em controles de isolamento acústico e na sonorização de níveis de ruído acústico. Fornece uma conexão direta para a impressão subjetiva do isolamento a ruído aéreo (ABNT NBR 16283-1:2018).

Segundo a ABNT NBR 16283-1, pode ser definida como a “diferença de nível que é padronizada para um valor de referência do tempo de reverberação na sala de recepção”, expressa em decibéis.

Calculada utilizando a Equação 2:

$$D_{nT} = D + 10 \lg \frac{T}{T_0}$$

Equação 2

Onde,

D_{nT} é a diferença de nível padronizada;

D é a diferença de nível, expressa em decibéis;

T é o tempo de reverberação na sala de recepção;

T_0 é o tempo de reverberação de referência; para habitações, $T_0 = 0,5$ s.

A diferença de nível é referente a um tempo de reverberação de 0,5 s, porque em habitações, o tempo de reverberação comumente encontrado é razoavelmente independente de volume e frequência e é aproximadamente igual a 0,5 s. Com esta padronização, o D_{nT} é dependente da direção da transmissão sonora se as salas de emissão e recepção tiverem diferentes volumes;

2.11 Diferença de Nível Padronizada Ponderada

De acordo com a ABNT NBR 15575:2021, o parâmetro utilizado no Brasil para avaliar o desempenho acústico em relação ao ruído aéreo é a diferença de nível padronizada ponderada (D_{nTw}). A parte 3 e 4 dessa norma estabelecem os requisitos mínimos para o D_{nTw} em relação aos sistemas de vedação vertical internos e externos, bem como para o sistema de vedação horizontal interno. Para obter os valores desse parâmetro, os resultados de D_{nT} obtidos por meio de ensaios em campo são ponderados.

2.12 Valores de referência para ruído aéreo

A avaliação da eficiência da edificação em relação ao isolamento acústico é realizada por meio de medições em várias frequências. Para obter um índice único que represente o desempenho acústico geral, a ABNT NBR ISO 717-1:2021 apresenta um método que converte os valores medidos em cada frequência para essa classificação geral.

No quadro 1 está o conjunto de valores de referência utilizados para a confecção de uma curva padrão que deve ser deslocada para a obtenção do número único.

Quadro 1 - Valores de referência

Frequência Hz	Valores de referência (dB)	
	Bandas de terço de oitava	Bandas de Oitava
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1000	55	
1250	56	
1600	56	56
2000	56	
2500	56	
3150	56	

Fonte: Adaptado ABNT NBR ISO 717-1 (2021)

2.13 Determinação do índice único de isolamento a ruído aéreo

A ABNT NBR ISO 717-1 fornece diretrizes para a determinação e classificação do índice único de isolamento a ruído aéreo, a partir dos resultados das medições realizadas em bandas de terço de oitava de acordo com a ABNT NBR ISO 16283-1.

A determinação consiste em um método gráfico descrito na norma ABNT NBR ISO 717-1, neste método a curva de referência pertinente em incrementos de 1 dB (0,1 dB para a expressão da incerteza) é deslocada para a curva medida até que a soma de desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas não superior a 32,0 dB (medição em 16 bandas de terço de oitava) ou a 10,0 dB (medição em 5 bandas de oitava) os resultados apresentados neste trabalho foram elaborados via algoritmo escrito na linguagem de programação R, APÊNDICES I e J.

O Quadro 2 adaptado da ABNT NBR ISO 717-1, apresenta as classificações de valor único para isolamento a ruído aéreo.

Quadro 2 - Classificações de valor único para isolamento a ruído aéreo em edificações

Valores derivados em bandas de terço de oitava ou em bandas de oitava		Definido em	
Classificação de valor único	Termo e símbolo		
Índice de redução sonora aparente ponderado, R_w	Índice de redução sonora aparente, R'	ABNT NBR ISO 16283-1:2018	Equação (4)
Índice de redução sonora aparente ponderado, $R_{45^\circ,w}$	Índice de redução sonora aparente, R_{45°	ABNT NBR ISO 16283-3:2021	3.12
Índice de redução sonora aparente ponderado, $R'_{tr,s,w}$	Índice de redução sonora aparente, $R'_{tr,s}$	ABNT NBR ISO 16283-3:2021	3.13
Diferença de nível normalizada ponderada, $D_{n,w}$	Diferença de nível normalizada, D_n	ISO 10140-2:2010	Equação (5)
Diferença de nível padronizada ponderada, $D_{nT,w}$	Diferença de nível padronizada, D_{nT}	ABNT NBR ISO 16283-1:2018	Equação (2)

Fonte: Adaptado ABNT NBR ISO 717-1:2021

2.14 Espectros de adaptação - C e C_{tr}

Termo de adaptação de espectro é um valor, a ser adicionado à classificação de valor único para levarem conta as características de espectros sonoros específicos, expresso em decibéis (ABNT NBR ISO 717-1:2021).

Segundo a ABNT NBR ISO 717-1:2021, o propósito de introduzir esses dois termos de adaptação de espectro C e C_{tr} é de levar em conta diferentes espectros de fontes de ruído (como ruído rosa e ruído de tráfego rodoviário) e avaliar curvas de isolamento acústico com valores muito baixos em uma única faixa de frequência.

Uma série de fontes de ruído diferentes são relacionadas aos termos de adaptação de espectro C e C_{tr} . O Quadro 3 pode ser usado como diretriz para a aplicação dos termos de adaptação de espectro para avaliar o isolamento acústico em relação a essas fontes de ruído.

Quadro 3 - Termo de adaptação de espectro para diferentes tipos de ruído

Tipo de fonte de ruído	Termo de adaptação de espectro pertinente
Atividades comuns (conversa, música, rádio, TV) Crianças brincando Tráfego ferroviário em média e alta velocidade Tráfego rodoviário > 80 km/ha Aeronaves a jato, curta distância Fábricas emitindo ruídos principalmente de média e alta frequência	C (espectro n° 1)
Tráfego rodoviário urbano Tráfego ferroviário em baixas velocidades Aeronaves, propelidas à hélice Aeronaves a jato, longa distância Música disco Fábricas emitindo ruídos principalmente de baixa e média frequência	C _{tr} (espectro n° 2)

Fonte: Adaptado ABNT NBR ISO 717-1 (2021)

2.15 Critérios Mínimos de Avaliação

Para a avaliação dos critérios mínimos de isolamento, recorreu-se a norma ABNT NBR 15575:2021 "Edificações habitacionais – Desempenho".

Nessa abordagem, utilizou-se os parâmetros definidos na norma para verificar se a edificação do hotel atende aos requisitos necessários para garantir um ambiente de hospedagem adequado e confortável. A escolha da ABNT NBR 15575:2021 baseou-se na sua abrangência no contexto de edificações habitacionais, diretrizes e critérios que podem ser aplicados para avaliar a qualidade do isolamento acústico no ambiente.

Portanto, ao utilizar a ABNT NBR 15575:2021 como referência para avaliar o isolamento acústico do hotel em questão, busca-se preencher uma lacuna existente de uma norma específica para esse tipo de estabelecimento, promovendo uma análise técnica consistente de desempenho em edificações habitacionais.

Os Quadros 4 e 5 contém os critérios de desempenho para os dois sistemas avaliados, sistema vertical, e sistemas horizontal de isolamento, respectivamente.

Quadro 4 – Critério e nível de desempenho mínimo, $D_{nT,w}$ de isolamento á ruído aéreo de vedações internas

Elemento de Separação	$D_{nT,w}$ (dB)
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações em que não haja ambiente dormitório	≥ 40
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥ 45
Parede cega 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 nos 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 home theater, 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 hall ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades), nas situações em que não haja ambiente dormitório	≥ 40
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades), caso pelo menos um dos usos dos ambientes seja dormitório	≥ 45

Fonte: Adaptado ABNT NBR 15575-4: 2021

Quadro 5 – Critério e nível de desempenho mínimo, $D_{nT,w}$, de isolamento á ruído aéreo em sistemas de pisos

Elemento de Separação	$D_{nT,w}$ (dB)
Sistema de piso entre as unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥ 45
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria situados em pavimentos distintos	≥ 40
Sistema de piso entre as unidades habitacionais autônomas, nas situações em que não haja ambiente dormitório	≥ 40
Sistemas de piso separando dormitório de unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo para atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45

Fonte: Adaptado ABNT NBR 15575-3: 2021

2.16 Lei da Massa

Segundo Castro e Rancura (2018), qualquer material permite a passagem do som com variações de intensidade de acordo com as ondas vibratórias. Essa propriedade está relacionada à massa do material: quanto maior a massa, maior a capacidade de isolar o som. Isso nos leva a estabelecer a "Lei da Massa" como um princípio fundamental do isolamento sonoro.

Carvalho (2006) afirma que, a Lei da Massa, obtida originalmente de forma empírica e posteriormente confirmada de maneira teórica, é baseada na densidade superficial de um material puro (como uma laje maciça).

Ainda segundo Carvalho (2006), a duplicação da massa de um material não implica em dobrar seu índice de isolamento, mas confere um aumento de 6 dB de isolamento cada vez que duplicada.

Crocker e Arenas (2021), afirmam que a perda da transmissão é definida conforme equação 3, e implica em um aumento de isolamento de 6 dB para cada duplicação da frequência ou para cada duplicação da massa por unidade de área.

$$TL = 20 \log(\rho s f) - C$$

Equação 3

Onde,

TL= perda de transmissão, expressa em dB;

ρs = densidade superficial de massa, em kg/m²;

f = frequência, em hertz;

C= 47 para densidade em kg/m².

3 METODOLOGIA

Franceschini *et al.* (2011) afirmam que uma pesquisa aplicada pressupõe de dois conceitos, metodologia empregada e seu campo de interesse. Sendo a metodologia uma aplicação de técnicas para coleta, descrição e interpretação de dados. Nesse sentido esta pesquisa utiliza parâmetros de desempenho acústico, teórica existente. Este trabalho aborda o desempenho acústico de um hotel em Guarapuava-PR, comparando os resultados obtidos in situ com outros encontrados na literatura. A seguir, serão apresentados os procedimentos para avaliar o desempenho acústico da edificação.

3.2 Materiais

Foram utilizados os seguintes materiais para coleta de dados e elaboração da pesquisa:

- Sonômetro Tipo 2250 da marca Brüel & Kjær, classe 1, conforme Fotografia 1, calibrado por meio de rede brasileira de calibração, conforme ANEXO A;

Fotografia 1 - Sonômetro 2250 Brüel & Kjær classe 1



Fonte: Autoria própria (2023)

- Microfone fixo capacitivo 1/2" modelo 4189 do fabricante Brüel & Kjær, conforme Fotografia 2;

Fotografia 2 - Microfone 1/2" 4189 Brüel & Kjær



Fonte: Autoria própria (2023)

- Calibrador de nível sonoro modelo 4231 do fabricante Brüel & Kjær, classe 1, conforme Fotografia 3, com certificado de calibração conforme ANEXO A;

Fotografia 3 – Calibrador 4231 Brüel & Kjær classe 1



Fonte: Autoria própria (2023)

- Amplificador modelo FA501 da marca Hypex, conforme Fotografia 4, com potência máxima de 650 W;

Fotografia 4 – Amplificador FA501 Hypex



Fonte: Autoria própria (2023)

- Fonte sonora omnidirecional conforme Fotografia 5, modelo DDC, marca Grom;

Fotografia 5 – Fonte sonora omnidirecional



Fonte: Autoria própria (2023)

- Termo Higo-Barômetro Digital conforme fotografia 6, modelo THB-100, marca Instrutherm, com certificado de calibração conforme ANEXO A;

Fotografia 6 – Termo-higro-barômetro



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3 Métodos

A medição do isolamento acústico aéreo foi realizada seguindo as instruções dadas em ABNT NBR ISO 16283-1:2018. Para cada uma das duas posições da fonte omnidirecional na sala emissora, foram feitas cinco posições de microfones manualmente na sala receptora e na sala emissora para cada partição medida. O tempo médio para cada posição do microfone foi de 15 segundos. Foram analisados dois cenários, que incluíram medições do nível de pressão sonora, ruído de fundo e tempo de reverberação.

Os cenários envolveram análises entre apartamentos, sendo essa análise das paredes divisórias internas, em *drywall* juntamente com análise de isolamento entre lajes de apartamentos sobrepostos. Os cômodos escolhidos para a análise foram os apartamentos 157, 159 e 257.

As análises foram divididas em duas etapas: a primeira focada no estudo do isolamento acústico das paredes internas e a segunda relacionada ao ruído aéreo do sistema de piso interno.

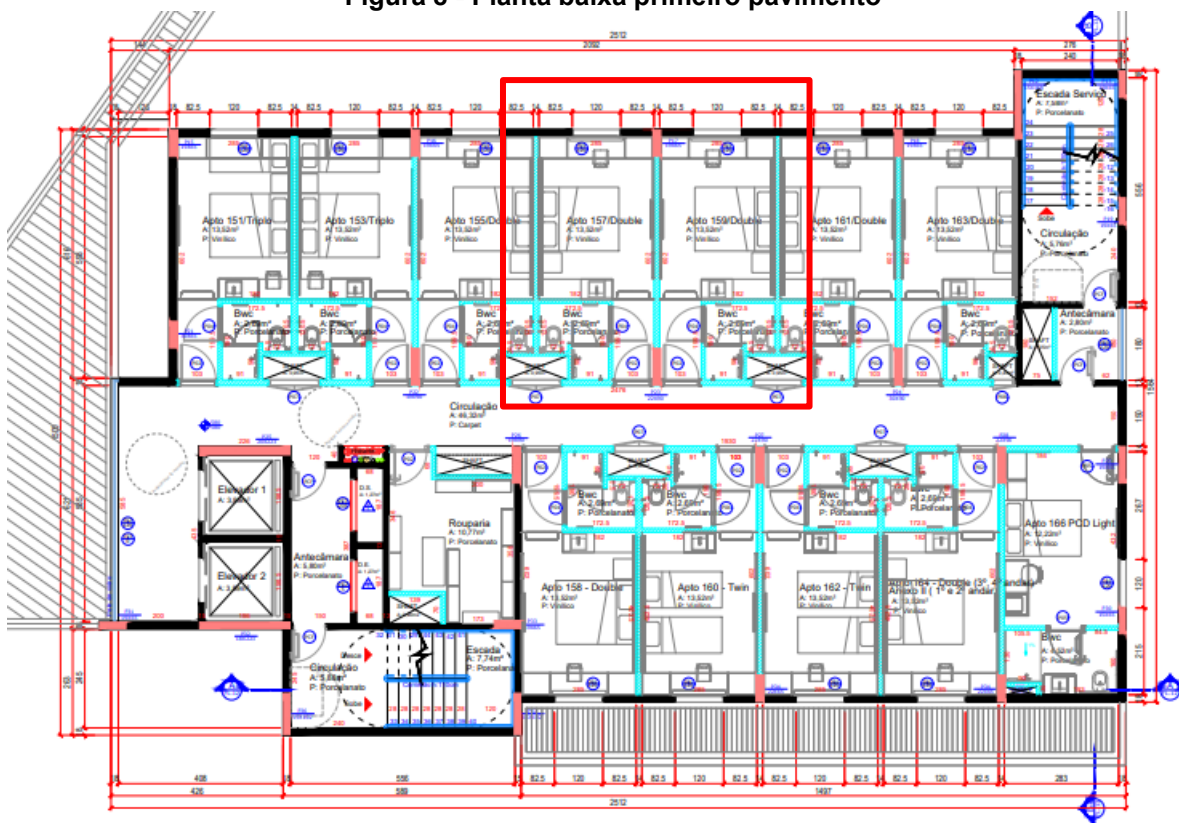
3.3.1 Caracterização dos ambientes

A análise foi conduzida em três ambientes distintos, cada um deles sendo um apartamento tipo composto por um quarto de 13,52 m² de área e 37,18 m³ de volume, e um banheiro privativo de 2,69 m². Esses apartamentos são denominados "Apartamento 157", "Apartamento 159" e "Apartamento 257". O apartamento 157 está localizado no primeiro pavimento abaixo do apartamento 257, localizado no segundo pavimento da edificação.

Para a avaliação do isolamento das paredes verticais, a sala de transmissão corresponde ao apartamento 159, enquanto a sala receptora corresponde ao apartamento 157, ilustrados nas figuras 8 e 9. Por outro lado, para a análise do isolamento do sistema horizontal, ou seja, da laje, a emissão foi realizada no apartamento 157 e a recepção ocorreu no apartamento 257 (figura 10).

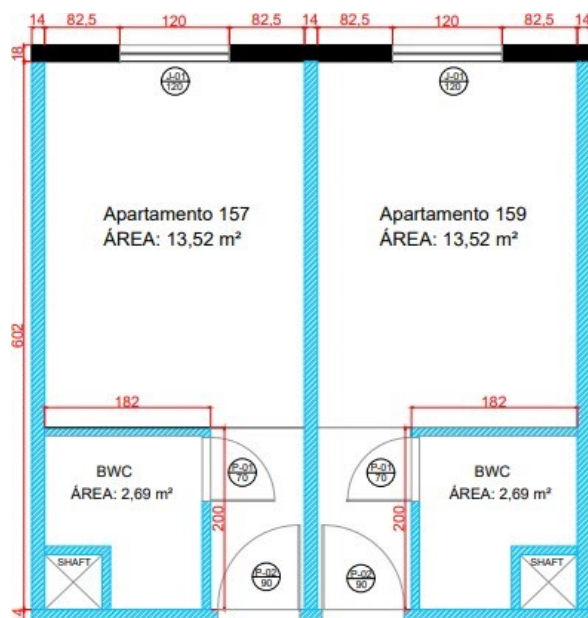
É importante ressaltar que todos os apartamentos possuem a mesma disposição e dimensões.

Figura 8 - Planta baixa primeiro pavimento



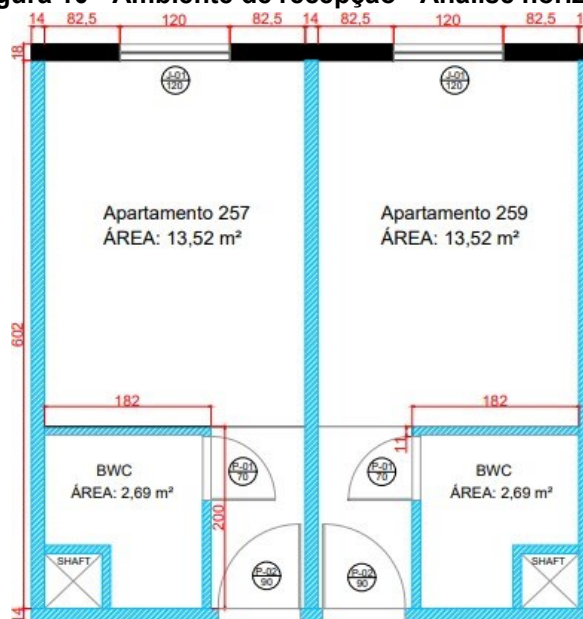
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 9 - Ambiente de emissão e recepção - Análise Vertical



Fonte: Autoria própria (2023)

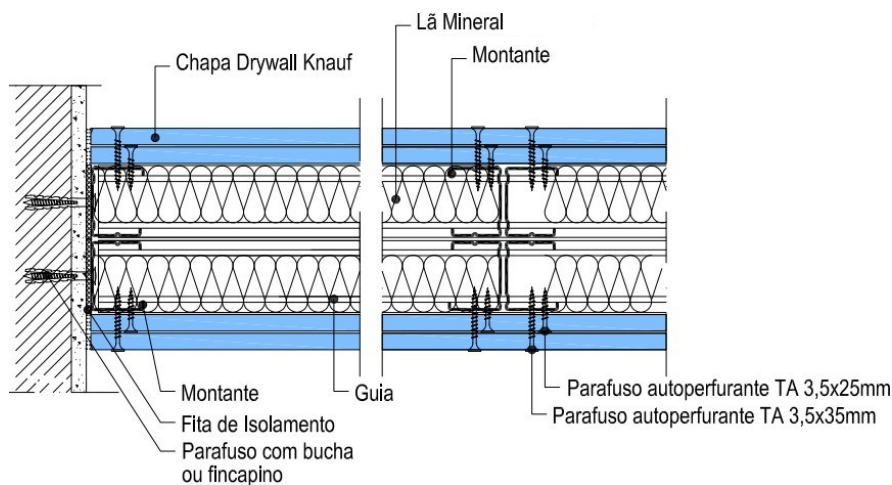
Figura 10 - Ambiente de recepção - Análise horizontal



Fonte: Autoria própria (2023)

As paredes divisórias internas da edificação possuem 4 chapas marca Knauf modelo RU BR 12,5/1200/1800, 2 camadas de lã de vidro marca Knauf modelo 12500x1200x50, massa da marca Knauf Readyfix 28kg PP, massa corrida Suvinil e pintura com aspecto de cimento queimado, disposições demonstradas na figura 11. Ademais, o sistema de vedação horizontal é composto por uma laje maciça de concreto armado com espessura 15 cm, moldada in loco e piso vinílico.

Figura 11 - Sistema construtivo paredes internas



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.2 Metodologia para Medição de Nível de Pressão Sonora

No processo de medição do nível de pressão sonora, foram realizadas medições em duas configurações diferentes da fonte. Essas configurações consistiram em posicionar a fonte sonora a uma distância mínima de 0,50 m do limite do ambiente e 1,00 m em situações em que o limite era a parede compartilhada entre os apartamentos. A fonte sonora foi elevada a uma altura de 1,50 m em relação ao piso acabado.

Para cada posição da fonte sonora, foram utilizados cinco pontos de microfone, atendidos em um total de dez posições no ambiente de emissão e o mesmo número no ambiente de recepção. O microfone foi posicionado de forma que existisse uma distância mínima de 0,50 m em relação aos limites do ambiente, 0,70 m entre os 5 pontos de medição e 1,00 m em relação à fonte sonora.

A disposição dos microfones pode variar dependendo do tipo de medição a ser realizada, como medições em laboratórios de ensaios acústicos ou medições em campo. Em todos os casos, o objetivo é garantir que as medições sejam representativas do desempenho acústico real da edificação e que os resultados possam ser comparados com os valores de referência pelas normas pertinentes, como a ABNT NBR ISO 717-1:2021.

Em relação à duração das medições, cada medição teve uma duração de 15 segundos para cada posição de microfone.

No que se refere às medições do tempo de reverberação, empregou-se o método do ruído interrompido com o auxílio do software do fabricante Brüel & Kjær, garantindo um método de análise computacional preciso e confiável. Para cada posicionamento da fonte, foram utilizadas duas posições de fonte e três posições de microfone, totalizando seis medições. Cada medição teve duração de 30 segundos. O posicionamento da fonte e do microfone seguiu os mesmos passos executados para as medições do nível de pressão sonora.

Além disso, em cada ambiente, foi realizada a medição do ruído de fundo para garantir que os ruídos provenientes dos ambientes interno e externo não interfiram nos resultados dos testes. Os resultados obtidos para frequências abaixo de 100 Hz e acima de 3150 Hz não foram considerados, pois são apenas informativos, conforme instrução da ABNT NBR ISO 717-1:2021.

Os ensaios foram realizados com os cômodos devidamente desocupados, com janelas e portas fechadas durante toda a medição. Para a realização dos ensaios, as condições climáticas estavam estáveis, e as condições climáticas como temperatura e umidade do dia estão fornecidas no ANEXO B.

3.3.3 Cálculo das médias energéticas do procedimento-padrão

No âmbito do procedimento-padrão, foi executada a sequência de cálculos de acordo com a norma ABNT NBR ISO 16283-1:2018. Após o download dos dados registrados pelo sonômetro para planilhas eletrônicas, foram determinadas as médias energéticas dos níveis de pressão sonora para as frequências de 100 Hz a 3150 Hz, utilizando a Equação 4:

$$L_{ener} = 10 \times \log \left(\frac{1}{n} * \sum 10^{L_i/10} \right)$$

Equação 4

Onde,

L_{ener} é a média energética dos níveis de pressão sonora em decibéis (dB).

L_1, \dots, L_n são os níveis de pressão sonora nas respectivas posições, em dB.

n é o número total de posições passivas.

3.3.4 Correções para o ruído de fundo

Segundo Hopkins (2012), ao medir construções com altos níveis de isolamento acústico, os níveis de pressão sonora na sala de recepção não podem ser superiores ao nível de ruído de fundo. Pode ocorrer com bastante frequência porque edifícios ocupados ou semiconcluídos com obras em andamento têm níveis de ruído de fundo mais altos.

Sendo assim, o efeito de medir os níveis de pressão sonora próximos ao ruído de fundo é fornecer um nível mais alto do que seria medido na ausência do ruído de fundo. O nível de pressão sonora medida na sala de recepção deve ser corrigido para remover o efeito de fundo instável (HOPKINS, 2012).

Conforme as diretrizes da ABNT NBR 16283-1:2018 para o procedimento padrão, é recomendado que a diferença entre o nível de ruído de fundo e as médias

energéticas deve ser de pelo menos 6 dB, preferencialmente maior que 10dB, inferior ao nível do sinal e ao ruído de fundo combinados em cada banda de frequência. Se a diferença entre os níveis estiver no intervalo de 6 a 10 dB, a norma ABNT NBR 16283-1 orienta que é necessário calcular as correções para a média energética dos níveis de pressão sonora. Essa correção é feita através da equação 5.

$$L2 = 10\lg \left(10^{\frac{Lsb}{10}} - 10^{\frac{Lb}{10}} \right)$$

Equação 5

Onde,

L2 é o nível do sinal ajustado, expresso em dB;

Lsb é o nível do sinal e do ruído de fundo combinados, expresso em dB;

Lb é o nível de ruído de fundo, expresso em dB;

Em situações em que as diferenças nos níveis são iguais ou inferiores a 6 dB, a ABNT NBR ISO 16283-1:2018 estabelece que uma correção de 1,3 dB deve ser aplicada.

3.3.5 Incertezas das medições

Conforme especificado pela norma BS EN ISO 12999-1:2020, intitulada "*Acoustics – Determination and Application of Measurement Uncertainties in Building Acoustics*", é essencial executar o cálculo das incertezas das medições para ambientes cujo volume exceda 25 m³. Consequentemente, para o projeto em questão, foram adotados os procedimentos delineados na EN ISO 12999-1:2014.

Quando tratamos da incerteza padrão no contexto do ruído aéreo para as bandas de terço de oitava e valores de número único, os procedimentos devem seguir conforme especificado pela ABNT NBR ISO 717-1:2021, a BS EN ISO 12999-1:2014.

Quanto à incerteza expandida, tomou-se como referência o exemplo prático delineado por Rindel (2018) para o cálculo desse parâmetro, com o objetivo de alcançar uma confiabilidade de 95%. Esse procedimento se fundamenta na análise dos dados e na distribuição Gaussiana, permitindo a entrega dos comandos de conversão K correspondentes a diferentes níveis de confiança. Nesse contexto, a

norma BS EN ISO 12999-1:2014 disponibiliza os valores pertinentes para esses coeficientes.

Usando os coeficientes K em conjunto com a incerteza padrão, pode-se calcular a incerteza expandida por meio da aplicação da Equação 6:

$$U = K \times u$$

Equação 6

Onde,

U é a incerteza expandida, expressa em dB;

K é o fator de conversão;

u é a incerteza padrão, expressa em dB.

4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos a partir das medições realizadas de acordo com o método descrito nas seções anteriores. Os dados coletados foram analisados e interpretados com o objetivo de compreender o desempenho acústico da edificação.

Os resultados são apresentados de forma clara e objetiva, utilizando gráficos, tabelas e outros recursos visuais.

A análise dos resultados é embasada em fundamentos teóricos, visando fornecer uma visão abrangente e precisa do comportamento acústico do ambiente estudado.

4.1 Avaliação dos critérios acústicos quantitativos

A análise dos resultados foi realizada em duas etapas, com foco inicial nas discussões referentes ao sistema horizontal onde a divisão é composta por um laje de concreto armado, seguida do sistema vertical da divisa com parede de *drywall*. A avaliação segue os critérios conforme as normas citadas anteriormente, incluídos ajustes quando necessários conforme abordado nos tópicos anteriores. Os valores de correção aplicados e as frequências que requerem tais ajustes estão detalhados em tabelas que se encontram nos apêndices.

4.1.1 Análise do Sistema Horizontal de Isolamento

Todos os dados obtidos pelo sonômetro a partir das medições estão registrados no APÊNDICE D. Os valores após a correção do ruído de fundo estão apresentados nos APÊNDICE F e G, por meio de tabelas.

Os resultados derivados dos métodos mencionados acima estão expostos na Tabela 16 para as duas direções designadas da fonte sonora.

Com o objetivo de alcançar um grau de confiança de 95% para o teste caudal, o fator de conversão (k) empregado é fixado em 1,65. Consequentemente, os dados relativos ao D_{nT} médio, bem como as incertezas padrão e expandida, estão disponibilizados na Tabela 16, juntamente com os valores TL da reta da lei da massa para cada frequência medida conforme equação descrita no tópico 2.16.

Os valores de D_{nT} foram calculados utilizando a equação descrita em 2.10, onde T corresponde à média aritmética dos tempos de reverberação pelo método do ruído interrompido (T20) para as duas posição de fonte, resultando em D_{nT1} e D_{nT2} , posteriormente aplicou-se a equação descrita em 3.3.3 a fim de obter um valor médio de D_{nT} (T20).

Nota-se que na Tabela 16 estão apresentados os valores de tempo de reverberação para os dois métodos apresentados para os tempos T20 e T30. Para o valor único de isolamento utilizou-se o método do ruído interrompido T20 por apresentar o melhor desempenho acústico, mas vale salientar que existem outros métodos que trazem uma incerteza menor, como o método da resposta impulsiva integrada T30.

Com auxílio do algoritmo na linguagem R de programação, inseriu-se os valores obtidos na Tabela 16 para plotagem dos gráficos 1, 2, 3 e 4 os quais apresentam o desempenho acústico da laje maciça de concreto armado de divisa entre os apartamento 157 e 257. Adicionou-se a a reta da lei da massa como forma de comparar os resultados obtidos com o tipo de material empregado no sistema construtivo.

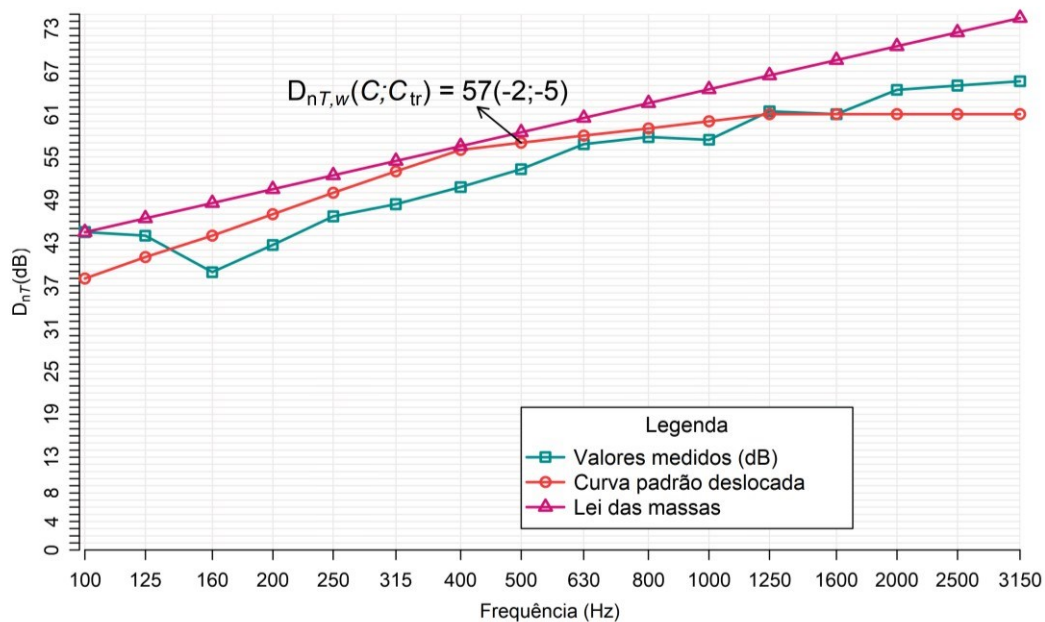
Utilizou-se descritores para os tempos de reverberação e seus respectivos métodos e faixas dinâmicas empregadas, a fim de facilitar a representação. Definidos no quadro 6.

Quadro 6 - Descritores para tempos de reverberação

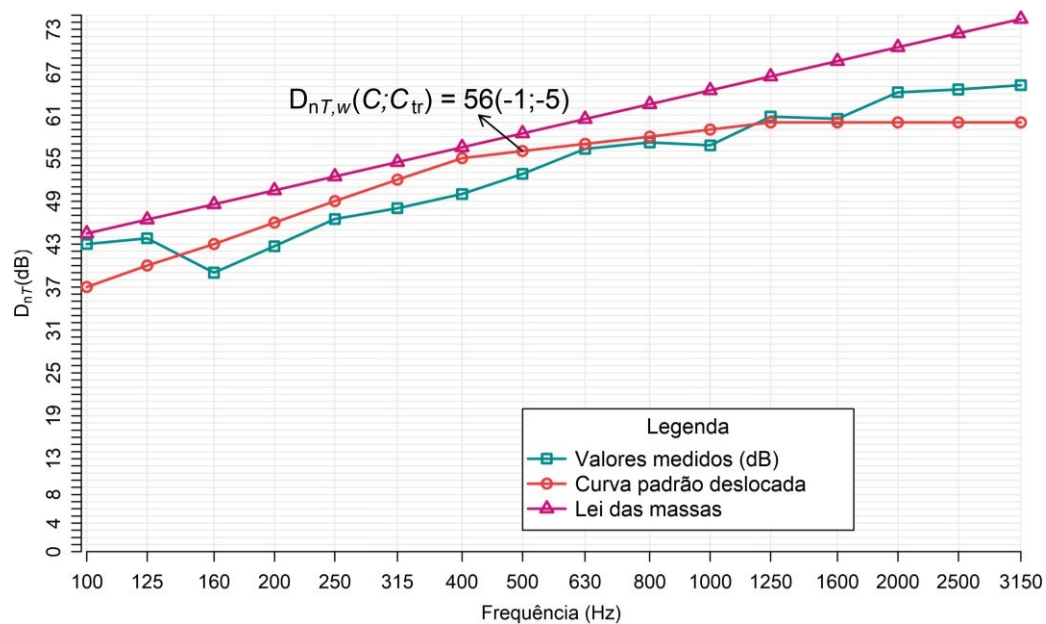
Descritor	Significado
$T_{20,int}$	Tempo de reverberação na faixa de 20dB medido por meio do método do ruído interrompido
$T_{20,imp}$	Tempo de reverberação na faixa de 20dB medido por meio do método da resposta impulsiva integrada
$T_{30,int}$	Tempo de reverberação na faixa de 30dB medido por meio do método do ruído interrompido
$T_{30,imp}$	Tempo de reverberação na faixa de 30dB medido por meio do método da resposta impulsiva integrada

Fonte: Autoria própria (2023)

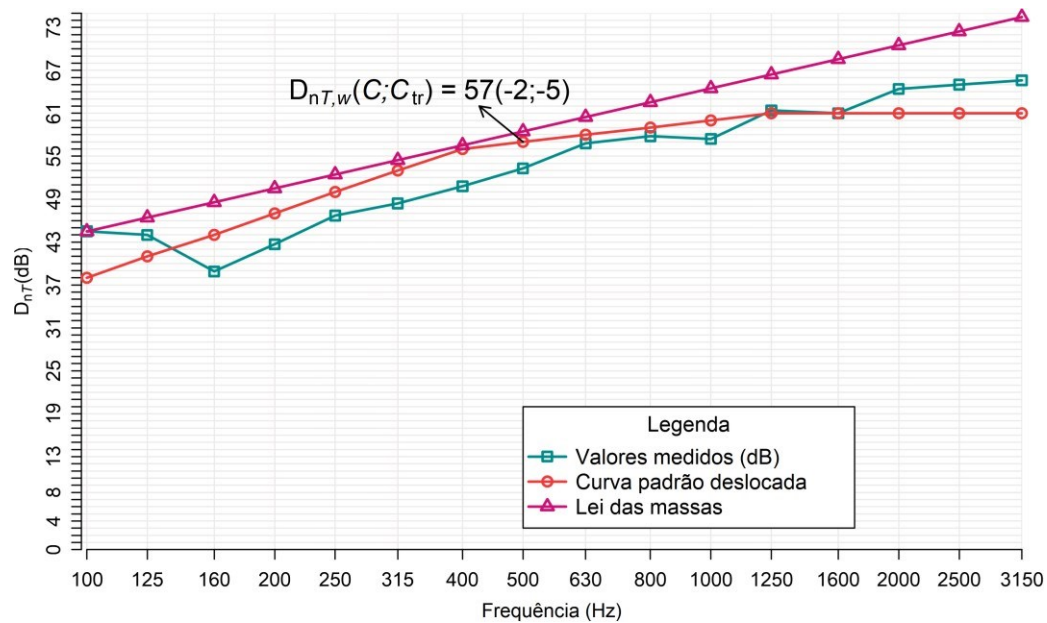
Os gráficos de desempenho com os tempos de reverberação descritos no quadro 6, estão representados abaixo.

Gráfico 1 - Desempenho acústico da laje "apartamento 257" com $T_{20,int}$ 

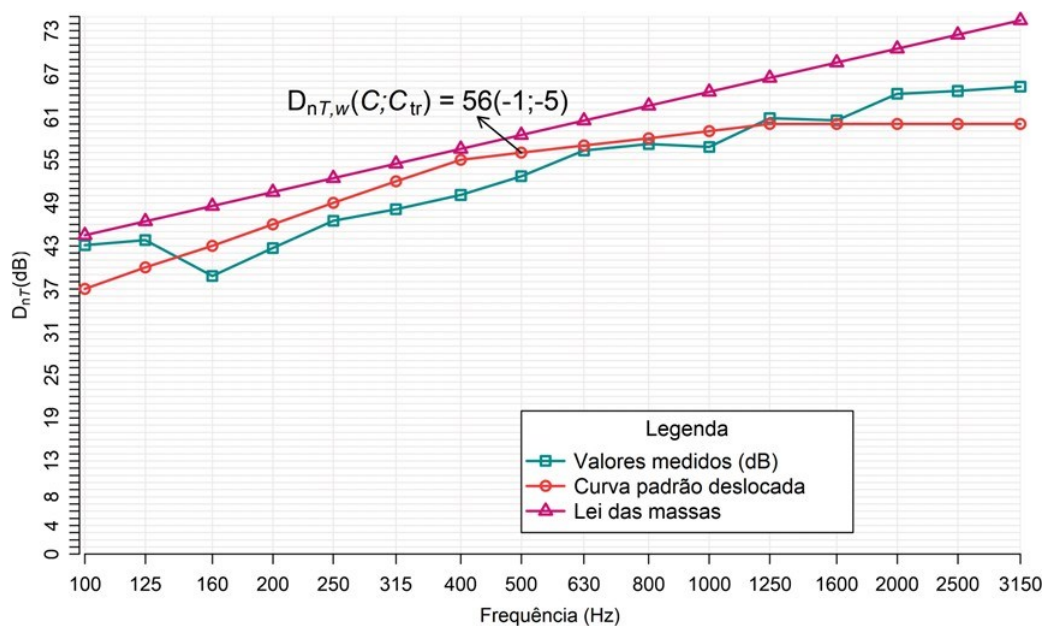
Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 2 - Desempenho acústico da laje "apartamento 257" com $T_{20,imp}$ 

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 3 - Desempenho acústico da laje "apartamento 257" com $T_{30,int}$ 

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 4 - Desempenho acústico da laje "apartamento 257" com $T_{30,imp}$ 

Fonte: Autoria própria (2023)

4.1.2 Análise do Sistema Vertical de Isolamento

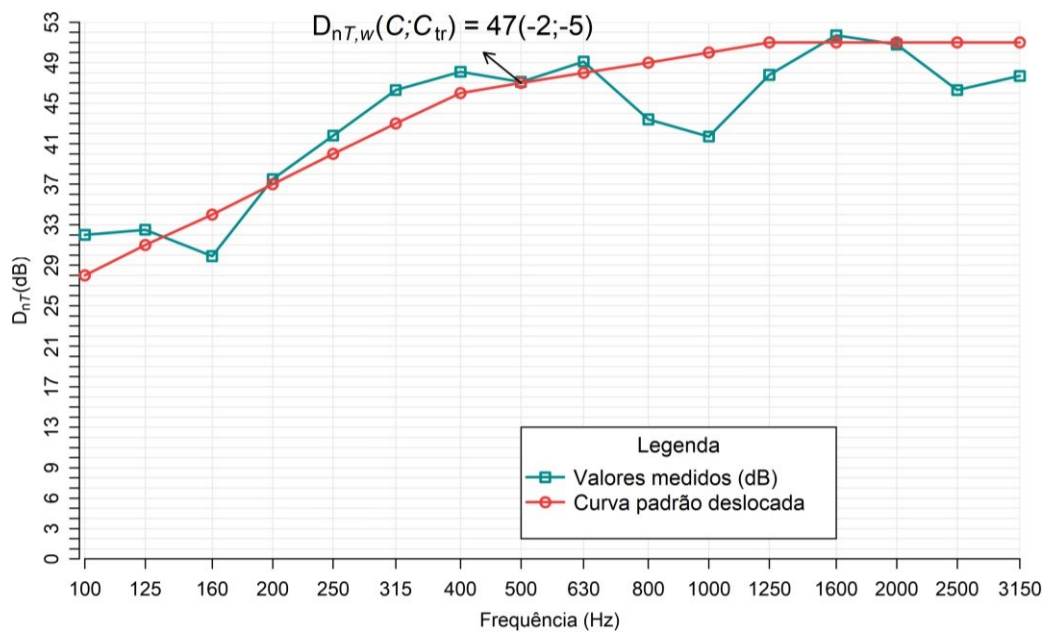
Os resultados para análise do sistema vertical de divisa em parede de *drywall* entre os apartamentos 159 (emissão) e 157 (recepção) derivados dos métodos mencionados acima estão expostos na Tabela 7, nos apêndices.

Os valores de D_{nT} também foram baseados nos tempos de reverberação pelo método do ruído interrompido (T_{20}) para discussão e resultados, por apresentarem melhor desempenho se comparado com o outro método descrito.

Também com auxílio do algoritmo em R, inseriu-se os valores obtidos na Tabela 7 para plotagem dos gráficos 5, 6, 7 e 8, os quais apresentam o desempenho acústico da parede de *drywall* para os tempos T_{20} e T_{30} para os dois métodos.

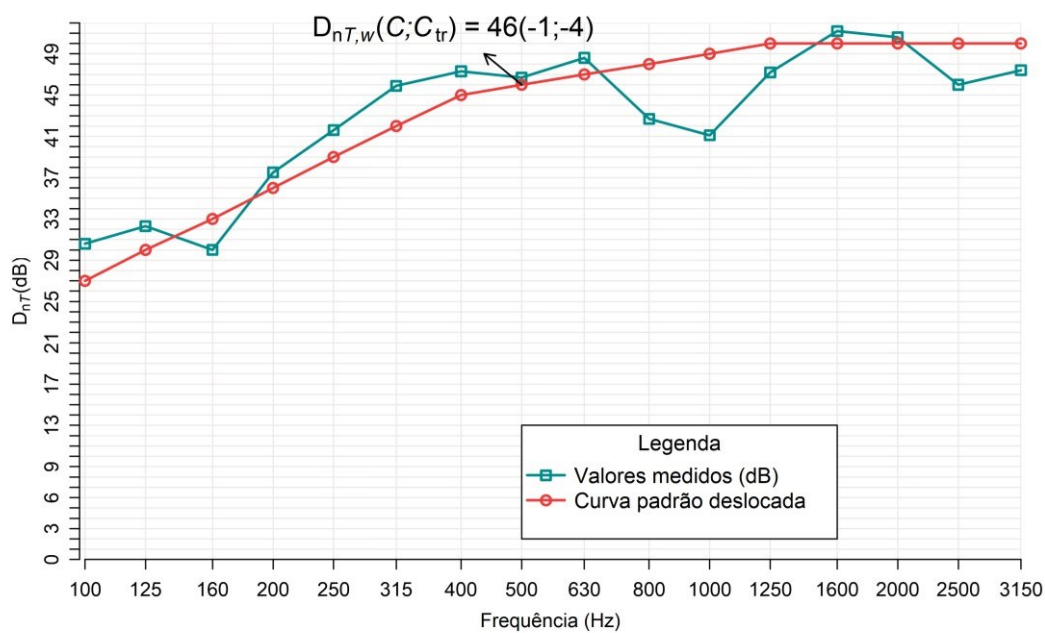
Todos os dados obtidos pelo sonômetro a partir das medições estão registrados no APÊNDICE A.

Gráfico 5 - Desempenho acústico da parede "apartamento 157" com $T_{20,int}$



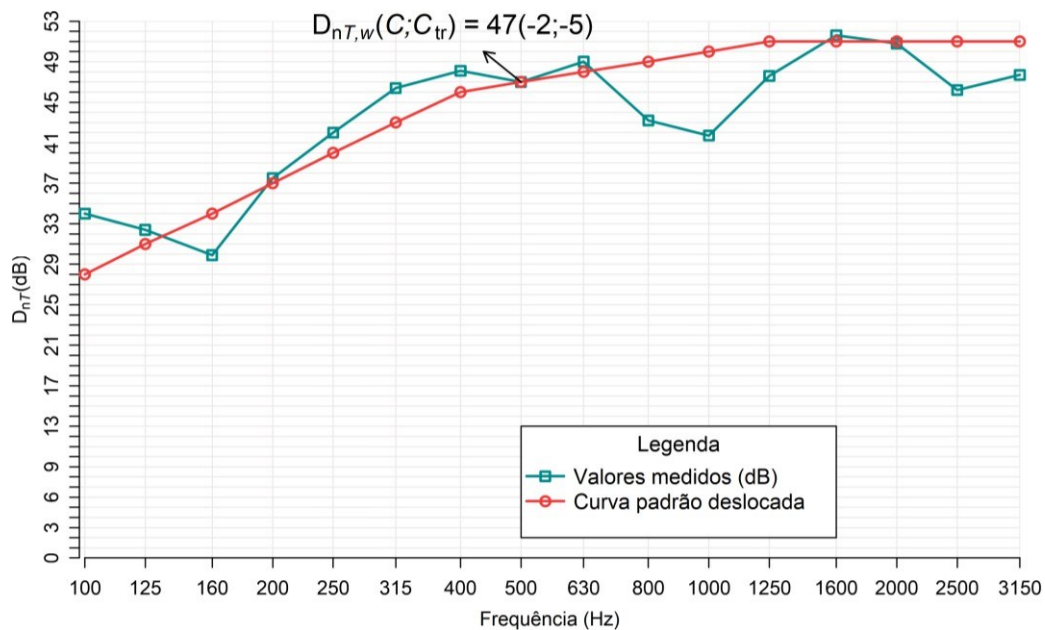
Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 6 - Desempenho acústico da parede "apartamento 157" com $T_{20,imp}$



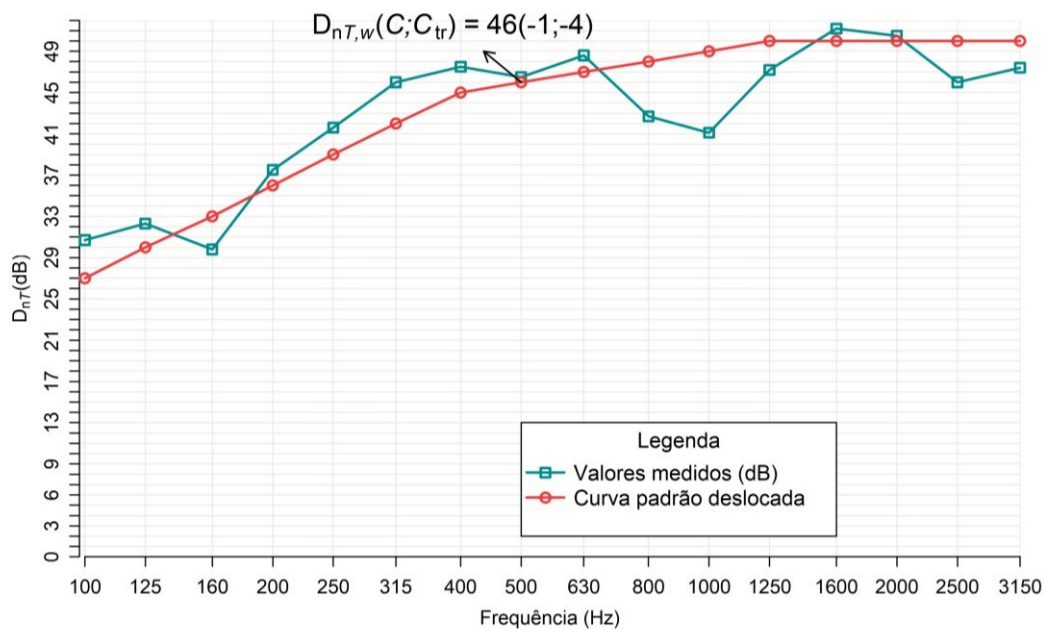
Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 7 - Desempenho acústico da parede "apartamento 157" com $T_{30,int}$



Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 8 - Desempenho acústico da parede "apartamento 157" com $T_{30,imp}$



Fonte: Autoria própria (2023)

4.1.3 Análise das incertezas nas medições

Os resultados das incertezas obtidos baseados na EN ISO 12999-1:2014, e a incerteza expandida calculada através da equação 6, estão apresentados nas tabelas 7 e 16, para os sistemas vertical e horizontal respectivamente.

Nesta seção serão apresentados os valores obtidos referentes ao valor único de isolamento, para ambos os sistemas construtivos.

Visando conferir o requisito para o isolamento acústico aéreo é ou não atendido, a incerteza padrão desta medição é o desvio padrão in situ, que é 0,9 dB para o índice de redução de acordo com a EN ISO 12999-1, e um nível de confiança de 95% dispõe de um fator de conversão $k=1,65$.

A conferência de acordo com os resultados dos gráficos 1 e 7 então apresentadas no quadro abaixo.

Quadro 7 - Análise de incertezas nas medições

Valor único de isolamento		$\sigma_{\text{situ}} \times k$	Desempenho com incerteza aplicada (dB)	Critério mínimo de desempenho (dB)
LAJE	57	1,485	53,515	45
PAREDE	47	1,485	45,515	45

Fonte: Autoria própria (2023)

Conclui-se que ambos os sistemas construtivos com a aplicação da incerteza atendem com conformidade os requisitos mínimos estabelecidos pela norma ABNT NBR 15575-1 (2021).

Uma consideração fundamental na análise da incerteza associada aos resultados obtidos, é que as incertezas relacionadas ao método com T30,imp tendem a ser menores em comparação com o método do ruído interrompido utilizado no quadro 7. No entanto, é importante ressaltar que a norma não impõe restrições quanto à escolha entre os métodos, permitindo aos profissionais da área optarem por aquele que melhor se adapta à situação específica.

Utilizando o método da resposta impulsiva integrada, observou-se que a parede não estava em conformidade com a norma, quando levada em consideração a incerteza associada ao desempenho. Sendo assim, cabe uma investigação mais profunda sobre o caso em que o método da resposta impulsiva integrada não atende aos critérios estabelecidos pelas normas de isolamento acústico.

5 CONCLUSÃO

Após realizar uma extensa análise da medição do isolamento acústico tanto do sistema de vedação vertical de paredes de *drywall* quanto do sistema horizontal de laje de concreto armado, foi constatado que ambos atendem às normativas brasileiras.

Ao longo deste estudo, foram adotadas metodologias para avaliar o desempenho acústico dos sistemas construtivos em questão. Foram realizados testes, considerando diferentes frequências e níveis de pressão sonora, a fim de obter resultados esperados e representativos da realidade.

Os resultados que o sistema de vedação vertical de paredes de *drywall* apresentou, ultrapassa o nível mínimo de desempenho (acima de 45 dB) no isolamento acústico, atendendo às exigências mínimas das normativas específicas. A estrutura testada possui capacidade de minimizar o som entre ambientes, garantindo maior privacidade e conforto acústico para os hóspedes.

Da mesma forma, o sistema horizontal de laje de concreto armado também obteve resultados positivos em relação ao isolamento acústico. As medições revelaram que a estrutura é capaz de reduzir eficientemente a passagem de ruídos, atingindo o nível superior de desempenho (acima de 55 dB), respeitando os padrões seguidos pelas normativas. Isso contribui para a criação de ambientes internos mais tranquilos e livres de perturbações sonoras indesejadas.

Diante desses resultados, é possível concluir que tanto o sistema de vedação vertical de paredes de *drywall* quanto o sistema horizontal do piso são opções viáveis e eficazes para garantir o isolamento acústico em uma edificação. Ambos os sistemas impõem sua capacidade de atender às normativas, fornecendo ambientes internos mais silenciosos e adequados para as diversas atividades realizadas nos espaços construídos.

No entanto é importante seguir as orientações e recomendações dos fabricantes, bem como contar com profissionais qualificados durante o processo de projeto e execução das edificações.

Portanto, com base nos resultados obtidos e nas análises realizadas, é possível afirmar que os sistemas são soluções eficientes e seguras para o isolamento acústico, e garantem o conforto e bem-estar dos usuários.

6 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Uma investigação mais profunda sobre a discrepância nos resultados entre os métodos do ruído interrompido e da resposta impulsiva integrada pode fornecer informações valiosas para a comunidade de engenharia acústica e construção civil. A proposta para trabalhos futuros é explorar essa discrepância e avaliar os fatores que influenciam a diferença nas influências entre os métodos.

Ao realizar medições experimentais utilizando ambas as abordagens em situações controladas. Pode ajudar a validar as observações feitas nas simulações e fornecer dados reais para análise comparativa.

Com base nos resultados obtidos, considerar a possibilidade de revisão da norma para abordar mais explicitamente a diferença nos resultados entre os métodos e fornecer orientações mais precisas sobre quando e como aplicar cada método.

Em conclusão, a avaliação dos métodos de medição de tempo de reverberação acústico é um campo de pesquisa relevante. Investigar as razões por trás das diferenças dos métodos pode contribuir significativamente para aprimorar a precisão e confiabilidade das medições acústicas em edificações, beneficiando tanto profissionais da área quanto usuários finais em busca de ambientes acusticamente adequados.

REFERÊNCIAS

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. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 16283-3:** Acústica — Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações — Parte 3: Isolamento de fachada a ruído aéreo. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 3382-2:** Acústica — Medição de parâmetros de acústica de salas — Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 717-1:** Acústica — Classificação de isolamento acústico em edificações e elementos de edificações — Parte 1: Isolamento a ruído aéreo. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520:** informação e documentação: citações em documentos - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

BRANDÃO, E. **Acústica de salas: projeto e modelagem.** Editora Blücher, 2016.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2018.

BERANEK, L.; MELLOW. **Acoustics:** Sound Fields, Transducers and Vibration. New York: American Institute of Physics, 2019.

Pozzer, T.; Monteiro, C.; Pierrard, J.; **Programa de ensaio interlaboratorial e de proficiência 2017 para laboratórios de ensaios de campo de acústica na edificação.** In: XXVIII ENCONTRO DA SOBRAC, 2018, Porto Alegre.

RINDEL, J. H. **Sound insulation in buildings.** 1ª ed., v. 1. Editora CRC Press, 2018.

KUTTRUFF, H. **Room Acoustics.** London: Taylor & Francis, 2016.

KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPLEY, L. C.; SANDERSON, J. V. **Fundamentals of Acoustics.** 4ª ed. New York: Wiley, 2007.

RUMSEY, F.; MCCORMICK, T. **Sound and Recording: An Introduction.** Oxford: Focal Press, 2009.

HARRIS, R. **Análise de sinais de áudio:** processamento de som para engenheiros. São Paulo: Bookman, 2011.

ROEDERER, J.G. **Introdução à Física e Psicofísica da Música**. Nova York: Springer, 2008.

FRANCESCHINI, A. et al. **Teoria e prática da pesquisa aplicada**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

HOPKINS, C. **Sound insulation**. Oxford: Elsevier Ltd., 2012

CASTRO, A. **Conforto ambiental: acústico e lumínico**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.

NERING, Krzysztof et al. **A possibilidade de proporcionar conforto acústico em quartos de hotel como elemento de desenvolvimento sustentável**. *Sustentabilidade*, v. 14, n. 20, pág. 13692, 2022.

MATVIIYK, Anton; SOBIN, Oleksii. **Implementação de modernos materiais de isolamento acústico em hotel**. 2019.

KUSUMA, Ayu Panji Wilda; EKASIWI, Sri Nastiti N.; ARIFianto, Dhany. Aplicação de material acústico para fachada para reduzir o impacto do ruído em edifício localizado próximo ao trilho. **Journal of Architecture & Environment**, v. 14, n. 1, pág. 33-54, 2015.

CARVALHO, Régio. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2006. 167p

CROCKER, Malcolm J.; ARENAS, Jorge P. **Engineering acoustics: noise and vibration control**. John Wiley & Sons, 2021.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. 4ª ed. São Carlos: EdUFSCar, 2012.

REZENDE, J. M. S.; FILHO, J. C. G. de M.; NASCIMENTO, N. L. F. **O desempenho acústico segundo a norma de desempenho ABNT NBR 15575: isolamento sonoro 47 contra ruído aéreo de vedações verticais internas medido em campo**. Dissertação (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2014.

APÊNDICE A - Dados fornecidos pelo sonômetro para medição entre os apartamentos 157 e 159, divisa em parede de *drywall*.

A tabela 1 apresenta os dados provenientes do sonômetro do nível de pressão sonora emitido para as posições 1 (S1) e 2 (S2) da fonte omnidirecional.

Tabela 1 - Dados de emissão do nível de pressão sonora no apartamento 159, fonte na posição 1 e 2.

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	S1:R1	S1:R2	S1:R3	S1:R4	S1:R5	S2:R1	S2:R2	S2:R3	S2:R4	S2:R5
100 Hz	62,29	65,04	69,30	69,75	67,58	71,37	70,28	70,98	71,48	71,47
125 Hz	78,07	84,30	83,81	85,79	78,60	78,82	76,73	74,56	85,67	81,47
160 Hz	73,83	77,04	78,49	76,60	78,08	74,48	72,98	74,66	72,94	72,96
200 Hz	72,16	71,08	72,68	72,25	72,89	71,80	73,05	73,90	71,41	72,72
250 Hz	74,87	72,01	73,81	74,07	75,39	74,26	73,94	72,56	72,44	75,19
315 Hz	77,54	73,54	77,11	78,21	83,11	79,35	76,90	78,44	80,50	80,86
400 Hz	76,50	76,67	76,48	78,12	80,07	79,83	78,72	79,12	82,07	79,08
500 Hz	79,53	78,42	78,07	78,53	78,10	80,31	78,62	79,22	79,01	78,72
630 Hz	76,91	80,26	78,66	77,51	77,54	79,37	80,08	78,10	78,66	78,62
800 Hz	78,58	78,33	78,29	79,03	78,11	79,06	78,25	77,55	76,56	77,78
1 kHz	77,44	77,08	77,06	76,71	77,76	76,72	77,29	76,94	77,40	77,23
1,25 kHz	78,14	78,51	77,79	77,87	77,57	78,94	78,29	77,87	77,33	78,35
1,6 kHz	75,05	75,56	75,22	75,03	75,29	75,72	75,05	76,30	75,56	76,29
2 kHz	80,67	80,75	80,75	80,33	80,61	80,58	81,29	81,07	80,39	80,31
2,5 kHz	84,59	85,06	85,30	84,79	85,31	85,27	85,32	84,84	84,45	85,35
3,15 kHz	78,83	80,19	79,46	79,75	80,05	80,50	80,40	81,22	79,72	80,12

Fonte: Autoria própria (2023)

A tabela 2 apresenta os dados provenientes do sonômetro do nível de pressão sonora recebido para as posições 1 (S1) e 2 (S2) da fonte omnidirecional.

Tabela 2 - Dados de recepção do nível de pressão sonora no apartamento 157, fonte na posição 1 e 2.

(Continua)

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	S1:R1	S1:R2	S1:R3	S1:R4	S1:R5	S2:R1	S2:R2	S2:R3	S2:R4	S2:R5
100 Hz	38,77	38,97	33,65	38,91	38,59	45,82	44,95	42,84	37,62	36,55
125 Hz	50,70	54,28	51,65	54,19	55,19	56,97	58,15	54,30	48,04	50,63
160 Hz	49,58	47,28	49,25	44,91	48,73	47,97	55,98	43,59	44,19	43,86

Tabela 2 - Dados de recepção do nível de pressão sonora no apartamento 157, fonte na posição 1 e 2.

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	S1:R1	S1:R2	S1:R3	S1:R4	S1:R5	S2:R1	S2:R2	S2:R3	S2:R4	S2:R5
200 Hz	38,28	39,75	38,36	36,98	37,73	39,66	41,94	40,84	38,96	39,61
250 Hz	37,00	37,09	36,66	40,00	37,64	37,83	36,62	35,09	34,75	36,80
315 Hz	39,53	38,87	37,50	37,59	39,33	38,02	36,91	37,78	35,57	35,95
400 Hz	37,06	35,70	36,68	35,43	35,65	36,63	36,14	35,68	35,56	36,30
500 Hz	37,99	37,59	37,16	36,29	37,46	39,33	38,93	37,72	36,53	38,32
630 Hz	36,09	37,23	34,82	34,75	35,93	35,75	35,77	35,06	35,24	35,82
800 Hz	39,97	40,70	41,39	40,49	39,50	39,28	40,73	41,20	39,63	39,50
1 kHz	34,31	36,32	36,58	35,31	35,54	34,25	34,98	36,77	36,09	35,41
1,25 kHz	32,83	33,84	33,23	34,30	33,16	33,47	33,72	33,11	33,80	33,59
1,6 kHz	31,00	31,15	31,34	31,94	31,63	31,48	30,49	30,83	31,39	31,28
2 kHz	36,66	36,25	37,18	37,06	37,05	36,86	35,97	37,29	36,40	35,56
2,5 kHz	41,78	41,74	41,77	41,48	41,86	41,25	41,11	41,08	40,73	40,27
3,15 kHz	35,24	34,97	35,03	35,25	35,43	34,71	34,49	34,46	34,46	34,53

Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE B - Tempo de reverberação pelo método do ruído interrompido

Os valores de tempo de reverberação pelo método do ruído interrompido para as posições 1 e 2 da fonte estão apresentados abaixo:

Tabela 3 - Tempo de reverberação para fonte 1 e 2, T20,int

Frequência (Hz)	Medição (dB)					
	S1:R1	S1:R2	S1:R3	S2:R1	S2:R2	S2:R3
T20 100 Hz	0,93	0,98	0,90	0,81	1,35	1,02
T20 125 Hz	1,15	0,94	0,94	1,16	1,24	1,15
T20 160 Hz	1,34	1,29	0,50	1,36	1,11	1,23
T20 200 Hz	1,06	1,59	1,28	1,56	1,31	1,13
T20 250 Hz	1,51	1,41	1,63	1,30	1,32	1,23
T20 315 Hz	1,3	1,49	1,34	1,17	1,4	1,42
T20 400 Hz	1,5	1,5	1,63	1,57	1,42	1,44
T20 500 Hz	1,6	1,27	1,48	1,3	1,57	1,41
T20 630 Hz	1,3	1,36	1,32	1,33	1,29	1,34
T20 800 Hz	1,17	1,21	1,29	1,3	1,32	1,34
T20 1 kHz	1,42	1,28	1,39	1,36	1,14	1,29
T20 1,25 kHz	1,36	1,25	1,28	1,33	1,25	1,39
T20 1,6 kHz	1,22	1,23	1,24	1,24	1,29	1,28
T20 2 kHz	1,15	1,13	1,08	1,14	1,08	1,13
T20 2,5 kHz	1,07	1,1	1,1	1,08	1,05	1,15
T20 3,15 kHz	1,07	1,06	1,09	1,12	1,05	1,10

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 4 - Tempo de reverberação para fonte 1 e 2, T30,int

(Continua)

Frequência (Hz)	Medição (dB)					
	S1:R1	S1:R2	S1:R3	S2:R1	S2:R2	S2:R3
T30 100 Hz	1,02	0,92	4,31	0,91	1,35	1,07
T30 125 Hz	1,15	0,95	0,95	1,10	1,19	1,09
T30 160 Hz	1,11	1,15	1,12	1,15	1,13	1,15
T30 200 Hz	1,27	1,35	1,25	1,51	1,23	1,18

Tabela 4 - Tempo de reverberação para fonte 1 e 2, T30,int

(Conclusão)

Frequência (Hz)	Medição (dB)					
	S1:R1	S1:R2	S1:R3	S2:R1	S2:R2	S2:R3
T30 250 Hz	1,46	1,51	1,57	1,47	1,38	1,35
T30 315 Hz	1,3	1,37	1,31	1,40	1,37	1,40
T30 400 Hz	1,52	1,44	1,69	1,52	1,52	1,32
T30 500 Hz	1,39	1,44	1,43	1,38	1,4	1,43
T30 630 Hz	1,25	1,36	1,37	1,42	1,22	1,23
T30 800 Hz	1,19	1,26	1,24	1,23	1,27	1,22
T30 1 kHz	1,23	1,27	1,29	1,32	1,26	1,37
T30 1,25 kHz	1,27	1,25	1,32	1,25	1,22	1,27
T30 1,6 kHz	1,24	1,21	1,23	1,22	1,25	1,22
T30 2 kHz	1,07	1,12	1,13	1,14	1,06	1,17
T30 2,5 kHz	1,05	1,03	1,12	1,06	1,05	1,12
T30 3,15 kHz	1,11	1,06	1,08	1,10	1,05	1,06

Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE C - Tempo de reverberação pelo método da resposta impulsiva integrada

Os valores de tempo de reverberação pelo método da resposta impulsiva integrada para as posições 1 e 2 da fonte estão apresentados abaixo.

Tabela 5 - Tempo de reverberação para fonte 1 e 2, T20,imp

Frequência (Hz)	Medição (dB)					
	S1:R1	S1:R2	S1:R3	S2:R1	S2:R2	S2:R3
T20 100 Hz	0,59	0,93	0,7	0,85	0,63	0,63
T20 125 Hz	0,78	1,08	1,03	1,1	1,12	1,1
T20 160 Hz	1,21	1,26	1,39	1,01	1,06	1,13
T20 200 Hz	1,73	1,35	1,01	1,35	1,3	1,19
T20 250 Hz	1,5	1,49	1,49	1,18	1,12	1,26
T20 315 Hz	1,1	1,22	1,29	1,2	1,33	1,19
T20 400 Hz	1,29	1,28	1,28	1,2	1,24	1,16
T20 500 Hz	1,18	1,32	1,42	1,37	1,31	1,19
T20 630 Hz	1,21	1,09	1,26	1,05	1,26	1,21
T20 800 Hz	1,11	1,13	1,17	0,99	1,02	1,14
T20 1 kHz	1,15	1,19	1,19	1,05	1,06	1,15
T20 1,25 kHz	1,17	1,19	1,12	1,09	1,18	1,17
T20 1,6 kHz	1,16	1,14	1,15	1,1	1,05	1,16
T20 2 kHz	1,13	1,13	1,08	0,99	1,06	0,97
T20 2,5 kHz	1,05	1,04	0,99	1,02	1,03	0,96
T20 3,15 kHz	0,96	0,96	1,05	1,04	0,98	1,03

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 6 - Tempo de reverberação para fonte 1 e 2, T30,imp

(Continua)

Frequência (Hz)	Medição (dB)					
	S1:R1	S1:R2	S1:R3	S2:R1	S2:R2	S2:R3
T30 100 Hz	0,59	0,98	0,72	0,81	0,65	0,67
T30 125 Hz	0,88	1,08	0,99	1,06	1,10	1,11
T30 160 Hz	1,15	1,02	1,38	0,97	1,06	1,12
T30 200 Hz	1,49	1,38	1,32	1,28	1,29	1,19
T30 250 Hz	1,43	1,37	1,44	1,30	1,21	1,29
T30 315 Hz	1,16	1,20	1,34	1,25	1,31	1,32

Tabela 6 - Tempo de reverberação para fonte 1 e 2, T30,imp

(Conclusão)

Frequência (Hz)	Medição (dB)					
	S1:R1	S1:R2	S1:R3	S2:R1	S2:R2	S2:R3
T30 400 Hz	1,45	1,33	1,29	1,27	1,25	1,19
T30 500 Hz	1,23	1,25	1,39	1,25	1,25	1,17
T30 630 Hz	1,24	1,17	1,21	1,08	1,21	1,16
T30 800 Hz	1,12	1,13	1,14	1,01	1,07	1,09
T30 1 kHz	1,15	1,16	1,21	1,11	1,13	1,13
T30 1,25 kHz	1,14	1,13	1,17	1,08	1,16	1,12
T30 1,6 kHz	1,10	1,16	1,17	1,05	1,05	1,16
T30 2 kHz	1,05	1,10	1,09	1,00	1,03	1,05
T30 2,5 kHz	0,99	1,00	1,01	1,01	1,03	0,97
T30 3,15 kHz	0,97	1,00	1,05	1,03	1,01	1,00

Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE D - Resultados conforme metodologias descritas para desempenho do sistema de vedação vertical

Tabela 7 - Resultados de desempenho acústico da parede "apartamento 157"

Frequência (Hz)	Lener1, emissão (dB)	Lener1, recepção (dB)	Lener2, emissão (dB)	Lener2, recepção (dB)	T20 (INT) (s)	T30 (INT) (s)	T20 (IMP) (s)	T30 (IMP) (s)	D _{nT} , médio (dB)	Incerteza I	Incerteza expandida U
100	67,57	38,16	71,14	42,97	1,00	1,60	0,72	0,74	32,01	±2,8	4,62
125	83,12	53,52	81,21	55,05	1,10	1,07	1,04	1,04	30,96	±2,4	3,96
160	77,08	48,25	73,68	50,27	1,14	1,14	1,18	1,12	28,89	±2,0	3,3
200	72,26	38,32	72,67	40,34	1,32	1,30	1,32	1,33	37,53	±1,8	2,97
250	74,17	37,86	73,80	36,37	1,40	1,46	1,34	1,34	41,83	±1,6	2,64
315	79,05	38,65	79,43	36,95	1,35	1,36	1,22	1,26	46,33	±1,4	2,31
400	77,81	36,15	79,95	36,08	1,51	1,50	1,24	1,30	48,14	±1,2	1,98
500	78,56	37,33	79,22	38,27	1,44	1,41	1,30	1,26	45,68	±1,1	1,82
630	78,35	35,86	79,02	35,54	1,32	1,31	1,18	1,18	47,18	±1,0	1,65
800	78,48	40,46	77,92	40,14	1,27	1,24	1,10	1,09	41,95	±1,0	1,65
1000	77,22	35,68	77,12	35,59	1,31	1,29	1,13	1,15	45,73	±1,0	1,65
1250	77,99	33,50	78,19	33,54	1,31	1,26	1,15	1,13	48,75	±1,0	1,65
1600	75,23	31,43	75,81	31,11	1,25	1,23	1,13	1,12	48,21	±1,0	1,65
2000	80,62	36,85	80,75	36,46	1,12	1,12	1,06	1,05	47,52	±1,0	1,65
2500	85,02	41,73	85,06	40,90	1,09	1,07	1,02	1,00	47,09	±1,3	2,15
3150	79,68	35,19	80,42	34,53	1,08	1,08	1,00	1,01	48,49	±1,6	2,64

Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE E - Dados fornecidos pelo sonômetro entre os apartamentos 157 e 257, divisão feita por laje de concreto armado

Tabela 8 - Dados de emissão do nível de pressão sonora no apartamento 157, fonte sonora na posição 1 (F1) e 2 (F2).

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	F1E1	F1E2	F1E3	F1E4	F1E5	F2E1	F2E2	F2E3	F2E4	F2E5
100Hz	72,74	68,36	64,17	71,68	68,02	59,90	69,19	63,49	66,30	61,04
125Hz	76,89	77,66	69,28	76,17	82,15	75,25	77,25	73,67	74,29	73,83
160Hz	77,40	72,26	67,80	73,24	70,24	71,60	72,58	73,06	74,49	71,03
200Hz	67,09	66,93	68,28	68,32	67,36	72,13	71,66	70,59	66,96	69,61
250Hz	74,13	74,39	69,62	74,84	71,97	72,03	71,67	73,12	72,28	74,10
315Hz	78,77	78,22	77,34	79,24	79,36	78,07	77,18	77,52	80,54	76,71
400Hz	77,38	77,33	77,66	79,07	79,77	78,11	77,70	78,91	78,98	77,76
500Hz	77,62	77,29	78,08	75,92	78,16	77,68	78,38	78,88	76,37	78,50
630Hz	79,00	77,47	79,50	77,90	77,50	79,07	78,38	78,43	77,57	78,56
800Hz	76,41	77,23	77,15	77,13	77,82	77,17	77,17	76,95	76,67	75,80
1kHz	76,06	74,34	74,56	75,76	74,83	75,74	75,91	75,45	75,44	74,99
1,25kHz	76,08	76,10	75,76	76,89	77,17	76,64	77,26	77,02	75,86	75,60
1,6kHz	73,93	73,80	74,35	73,78	74,97	74,20	73,96	74,90	74,24	73,67
2kHz	78,89	78,46	79,63	78,65	78,45	78,24	78,75	79,15	78,25	79,25
2,5kHz	82,88	84,09	82,80	83,60	82,56	82,56	83,18	83,92	82,09	83,40
3,15kHz	77,31	77,59	78,18	78,39	77,93	78,39	78,40	79,37	78,25	78,24

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 9 - Dados de recepção do nível de pressão sonora no apartamento 257, fonte sonora na posição 1 (F1) e 2 (F2).

(Continua)

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	F1R1	F1R2	F1R3	F1R4	F1R5	F2R1	F2R2	F2R3	F2R4	F2R5
100Hz	27,39	23,40	21,78	23,89	26,46	24,15	25,79	20,56	25,37	21,87
125Hz	36,04	34,37	33,85	34,76	34,59	34,35	34,69	34,19	29,76	35,86
160Hz	33,04	31,00	30,02	39,80	38,14	34,37	41,81	29,56	33,18	42,78
200Hz	27,42	31,87	29,13	27,64	28,76	28,61	30,04	27,95	29,10	26,31
250Hz	30,42	31,13	29,77	29,27	28,59	30,28	27,98	29,09	29,79	28,51
315Hz	35,89	35,73	35,62	35,06	35,26	33,99	33,54	33,09	36,70	34,09

Tabela 9 - Dados de recepção do nível de pressão sonora no apartamento 257, fonte sonora na posição 1 (F1) e 2 (F2).

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	F1R1	F1R2	F1R3	F1R4	F1R5	F2R1	F2R2	F2R3	F2R4	F2R5
400Hz	34,11	33,21	30,96	32,33	32,01	34,43	33,18	32,18	33,75	31,79
500Hz	30,50	30,25	28,06	29,31	29,46	31,23	31,05	28,13	30,05	31,12
630Hz	26,52	27,98	26,03	25,42	24,64	28,42	26,24	26,06	26,72	26,27
800Hz	23,96	25,38	23,24	23,09	22,55	25,29	23,65	24,74	24,42	22,38
1kHz	20,91	26,79	21,51	22,06	21,54	24,03	22,66	23,52	22,10	20,10
1,25kHz	19,63	20,17	18,90	18,97	19,11	22,35	20,57	20,19	21,31	18,19
1,6kHz	16,73	16,84	16,38	16,01	15,44	20,03	16,89	17,66	18,57	14,60
2kHz	18,92	18,49	18,03	18,14	18,32	20,17	18,61	19,04	18,79	17,50
2,5kHz	20,78	21,35	20,39	20,82	20,79	21,84	20,86	21,02	20,56	20,50
3,15kHz	16,14	15,61	15,45	15,21	14,65	17,54	16,32	16,37	15,58	14,42

Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE F - Dados de ruído de fundo para análise do sistema vertical

Os dados obtidos pelo sonômetro para o ruído de fundo para o apartamento 157 estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Ruído de fundo Apartamento 157, sala de recepção.

Frequência (Hz)	Medição (dB)				
	R1	R2	R3	R4	Média
100 Hz	34,91	31,80	17,02	21,24	29,82
125 Hz	39,70	34,79	27,43	25,78	34,24
160 Hz	27,51	36,75	26,12	26,67	30,91
200 Hz	23,18	34,84	30,11	24,98	29,64
250 Hz	22,08	33,24	26,65	26,49	28,03
315 Hz	22,43	34,62	28,04	28,71	29,50
400 Hz	20,09	31,54	27,12	30,98	28,19
500 Hz	18,6	27,33	23,01	24,73	23,47
630 Hz	16,79	24,67	20,5	22,84	21,11
800 Hz	15,89	22,64	18,7	23,25	20,08
1 kHz	16,26	21,08	18,95	22,25	19,22
1,25 kHz	10,69	25,83	18,46	18,12	20,26
1,6 kHz	8,72	19,48	19,66	14,85	16,44
2 kHz	7,72	22,02	25,64	14,29	20,49
2,5 kHz	7,11	19,94	27,31	14,29	21,27
3,15 kHz	7,42	20,21	24,93	14,16	19,53

Fonte: Autoria própria (2023)

Como mencionado acima, algumas frequências precisaram passar por correções conforme as orientações normativas.

Para facilitar a visualização, os dados utilizados para essas correções nas diferentes posições da fonte estão apresentados nas Tabelas 11 e 12, os valores representados em verde tiveram uma diferença entre o nível de ruído de fundo e as médias energéticas >10dB, portanto não apresenta correção, os demais valores foram corrigidos conforme 3.4.1.

Tabela 11 - Correções conforme análise do ruído de fundo do sistema vertical, fonte 1.

Frequência		Medição					Média energética	Ruído de fundo	Novo L
(Hz)	F1R1	F1R2	F1R3	F1R4	F1R5				
100	38,77	38,97	33,65	38,91	38,59	38,16	29,82	37,52	
125	50,7	54,28	51,65	54,19	55,19	53,52	34,24	53,52	
160	49,58	47,28	49,25	44,91	48,73	48,25	30,91	48,25	
200	38,28	39,75	38,36	36,98	37,73	38,32	29,64	37,67	
250	37	37,09	36,66	40	37,64	37,86	28,03	37,43	
315	39,53	38,87	37,5	37,59	39,33	38,65	29,50	38,03	
400	37,06	35,7	36,68	35,43	35,65	36,15	28,19	35,45	
500	37,99	37,59	37,16	36,29	37,46	37,33	23,47	37,33	
630	36,09	37,23	34,82	34,75	35,93	35,86	21,11	35,86	
800	39,97	40,7	41,39	40,49	39,5	40,46	20,08	40,46	
1000	34,31	36,32	36,58	35,31	35,54	35,68	19,22	35,68	
1250	32,83	33,84	33,23	34,3	33,16	33,50	20,26	33,50	
1600	31	31,15	31,34	31,94	31,63	31,43	16,44	31,43	
2000	36,66	36,25	37,18	37,06	37,05	36,85	20,49	36,85	
2500	41,78	41,74	41,77	41,48	41,86	41,73	21,27	41,73	
3150	35,24	34,97	35,03	35,25	35,43	35,19	19,53	35,19	

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 12 - Correções conforme análise do ruído de fundo do sistema vertical, fonte 2.

(Continua)

Frequência		Medição					Média energética	Ruído de fundo	Novo L
(Hz)	F2R1	F2R2	F2R3	F2R4	F2R5				
100	45,82	44,95	42,84	37,62	36,55	42,97	29,82	42,97	
125	56,97	58,15	54,3	48,04	50,63	55,05	34,24	55,05	
160	47,97	55,98	43,59	44,19	43,86	50,27	30,91	50,27	
200	39,66	41,94	40,84	38,96	39,61	40,34	29,64	40,34	

**Tabela 12 - Correções conforme análise do ruído de fundo do sistema vertical, fonte 2
(Conclusão)**

Frequência (Hz)	Medição					Média energética	Ruído de fundo	Novo L
	F2R1	F2R2	F2R3	F2R4	F2R5			
250	37,83	36,62	35,09	34,75	36,8	36,37	28,03	35,72
315	38,02	36,91	37,78	35,57	35,95	36,95	29,50	36,15
400	36,63	36,14	35,68	35,56	36,3	36,08	28,19	35,33
500	39,33	38,93	37,72	36,53	38,32	38,27	23,47	38,27
630	35,75	35,77	35,06	35,24	35,82	35,54	21,11	35,54
800	39,28	40,73	41,2	39,63	39,5	40,14	20,08	40,14
1000	34,25	34,98	36,77	36,09	35,41	35,59	19,22	35,59
1250	33,47	33,72	33,11	33,8	33,59	33,54	20,26	33,54
1600	31,48	30,49	30,83	31,39	31,28	31,11	16,44	31,11
2000	36,86	35,97	37,29	36,4	35,56	36,46	20,49	36,46
2500	41,25	41,11	41,08	40,73	40,27	40,90	21,27	40,90
3150	34,71	34,49	34,46	34,46	34,53	34,53	19,53	34,53

Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE G - Dados de ruído de fundo para análise do sistema horizontal

Os dados obtidos pelo sonômetro para o ruído de fundo para o apartamento 257 estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Ruído de fundo Apartamento 257, sala de recepção.

Frequência (Hz)	Medição (dB)					Média
	R1	R2	R3	R4	R5	
100Hz	17,04	20,15	26,47	26,22	18,26	23,36
125Hz	25,48	28,45	31,8	29,75	24,36	28,79
160Hz	22,68	27,69	32,04	25,79	22,38	27,67
200Hz	20,05	26,79	27,16	25,36	22,52	25,11
250Hz	18,92	26,99	28,74	23,37	25,72	25,84
315Hz	21,43	29,79	27,88	23,07	24	26,35
400Hz	22,94	26,41	25,9	21,65	21,37	24,17
500Hz	23,21	25,18	21,84	19,6	23,61	23,06
630Hz	17,8	21,18	17,9	15,69	18,05	18,50
800Hz	15,9	18,53	15,91	14,04	15,71	16,27
1kHz	15,64	16,67	14,79	14,91	15,07	15,47
1,25kHz	10,88	13,92	14,46	10,24	10,92	12,44
1,6kHz	10,66	12,32	14,27	9,53	7,75	11,48
2kHz	12,46	12,7	11,87	7,95	7,45	11,03
2,5kHz	9,79	12,79	11,52	7,5	7,06	10,29
3,15kHz	9,84	12,31	11,6	7,06	6,97	10,10

Fonte: Autoria própria (2023)

Os dados utilizados para as correções do ruído de fundo nas diferentes posições da fonte estão apresentados nas Tabelas 14 e 15, os valores representados em verde tiveram uma diferença entre o nível de ruído de fundo e as médias energéticas >10dB, portanto não apresenta correção, os demais valores foram corrigidos conforme 3.4.1.

Tabela 14 - Correções conforme análise do ruído de fundo do sistema horizontal, fonte 1.

Frequência (Hz)	Medição					Média energética	Ruído de fundo	Novo L
	F1R1	F1R2	F1R3	F1R4	F1R5			
100	27,39	23,4	21,78	23,89	26,46	25,07	23,36	26,37
125	36,04	34,37	33,85	34,76	34,59	34,79	28,79	36,09
160	33,04	31	30,02	39,8	38,14	36,09	27,67	35,42
200	27,42	31,87	29,13	27,64	28,76	29,29	25,11	30,59
250	30,42	31,13	29,77	29,27	28,59	29,93	25,84	31,23
315	35,89	35,73	35,62	35,06	35,26	35,52	26,35	34,93
400	34,11	33,21	30,96	32,33	32,01	32,66	24,17	32,04
500	30,5	30,25	28,06	29,31	29,46	29,60	23,06	28,50
630	26,52	27,98	26,03	25,42	24,64	26,27	18,50	25,51
800	23,96	25,38	23,24	23,09	22,55	23,76	16,27	22,95
1000	20,91	26,79	21,51	22,06	21,54	23,20	15,47	22,39
1250	19,63	20,17	18,9	18,97	19,11	19,38	12,44	18,43
1600	16,73	16,84	16,38	16,01	15,44	16,31	11,48	17,61
2000	18,92	18,49	18,03	18,14	18,32	18,39	11,03	17,53
2500	20,78	21,35	20,39	20,82	20,79	20,84	10,29	20,84
3150	16,14	15,61	15,45	15,21	14,65	15,44	10,10	16,74

Tabela 15 - Correções conforme análise do ruído de fundo do sistema horizontal, fonte 2.**(Continua)**

Frequência (Hz)	Medição					Média energética	Ruído de fundo	Novo L
	F2R1	F2R2	F2R3	F2R4	F2R5			
100	24,15	25,79	20,56	25,37	21,87	23,98	23,36	25,28
125	34,35	34,69	34,19	29,76	35,86	34,18	28,79	35,48
160	34,37	41,81	29,56	33,18	42,78	39,02	27,67	39,02
200	28,61	30,04	27,95	29,1	26,31	28,57	25,11	29,87
250	30,28	27,98	29,09	29,79	28,51	29,21	25,84	30,51
315	33,99	33,54	33,09	36,7	34,09	34,49	26,35	33,77
400	34,43	33,18	32,18	33,75	31,79	33,17	24,17	32,62

**Tabela 15 - Correções conforme análise do ruído de fundo do sistema horizontal, fonte 2.
(Conclusão)**

Frequência (Hz)	Medição					Média energética	Ruído de fundo	Novo L
	F2R1	F2R2	F2R3	F2R4	F2R5			
500	31,23	31,05	28,13	30,05	31,12	30,46	23,06	29,63
630	28,42	26,24	26,06	26,72	26,27	26,84	18,50	26,10
800	25,29	23,65	24,74	24,42	22,38	24,21	16,27	23,43
1000	24,03	22,66	23,52	22,1	20,1	22,68	15,47	21,78
1250	22,35	20,57	20,19	21,31	18,19	20,73	12,44	20,00
1600	20,03	16,89	17,66	18,57	14,6	17,91	11,48	16,77
2000	20,17	18,61	19,04	18,79	17,5	18,91	11,03	18,13
2500	21,84	20,86	21,02	20,56	20,5	20,98	10,29	20,98
3150	17,54	16,32	16,37	15,58	14,42	16,17	10,10	14,98

Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE H - Resultados conforme metodologias descritas para desempenho do sistema de vedação horizontal

Tabela 16 - Resultados de desempenho acústico da laje "apartamento 257"

Frequência (Hz)	Lener1, emissão (dB)	Lener1, recepção (dB)	Lener2, emissão (dB)	Lener2, recepção (dB)	T20 (INT) (s)	T30 (INT) (s)	T20 (IMP) (s)	T30 (IMP) (s)	D _{nT} , médio (dB)	Incerteza I	Incerteza expandida U	TL (dB)
100	69,94	25,07	65,33	23,98	1,00	1,60	0,72	0,74	44,46	±2,8	4,62	44,48
125	78,08	34,79	75,08	34,18	1,10	1,07	1,04	1,04	44,04	±2,4	3,96	46,42
160	73,40	36,09	72,72	39,02	1,14	1,14	1,18	1,12	38,91	±2,0	3,3	48,56
200	67,64	29,29	70,53	28,57	1,32	1,30	1,32	1,33	42,71	±1,8	2,97	50,50
250	73,37	29,93	72,73	29,21	1,40	1,46	1,34	1,34	46,66	±1,6	2,64	52,44
315	78,65	35,52	78,23	34,49	1,35	1,36	1,00	1,26	48,4	±1,4	2,31	54,45
400	78,36	32,66	78,33	33,17	1,51	1,50	1,24	1,30	50,81	±1,2	1,98	56,52
500	77,49	29,60	78,05	30,46	1,44	1,41	1,30	1,26	53,28	±1,1	1,82	58,46
630	78,35	26,27	78,43	26,84	1,32	1,31	1,18	1,18	56,8	±1,0	1,65	60,47
800	77,17	23,76	76,78	24,21	1,27	1,24	1,10	1,09	57,82	±1,0	1,65	62,54
1000	75,16	23,20	75,52	22,68	1,31	1,29	1,13	1,15	57,42	±1,0	1,65	64,48
1250	76,43	19,38	76,52	20,73	1,31	1,26	1,15	1,13	61,38	±1,0	1,65	66,42
1600	74,19	16,31	74,21	17,91	1,25	1,23	1,13	1,12	60,97	±1,0	1,65	68,56
2000	78,84	18,39	78,75	18,91	1,12	1,12	1,06	1,05	64,45	±1,0	1,65	70,50
2500	83,22	20,84	83,08	20,98	1,09	1,07	1,00	1,00	64,95	±1,3	2,15	72,44
3150	77,90	15,44	78,55	16,17	1,08	1,08	1,00	1,01	65,55	±1,6	2,64	74,45

Fonte: Aatoria própria (2023)

APÊNDICE I - Algoritmo escrito na linguagem de programação R para interpretação gráfica dos dados das paredes

Figura 12- Algoritmo escrito na linguagem de programação R para plotagem de gráfico de diferença de nível da parede de divisa

```

library(calibrate)
library(Cairo)

#A<-
c(36.3054,38.2288,39.9274,36.2452,36.0570,33.7592,34.2113,34.9910,36.2875,37.3066,37.6869,37.25
48,37.7542,40.6680,41.6178,44.5271)
A<-
c(41.37,41.24,32.58,37.97,44.74,44.41,46.39,46.87,48.38,50.65,52.76,52.99,53.62,54.79,56.80,58.
87)#Coloque aqui os valores de DnT
B<-c(33,36,39,42,45,48,51,52,53,54,55,56,56,56,56) #curva padr?o
C<-c(100,125,160,200,250,315,400,500,630,800,1000,1250,1600,2000,2500,3150) #banda de 1/3 de
oitava
Lb<-c()#ruído de fundo
D<-log10(C)

# L<-c(1:16)
# Lsb<-round(A, digits=1)

# for (i in 1:16){
#   if (Lsb[i]-Lb[i]>=10){
#     Lsb[i]=Lsb[i]
#   }
#   else if ((Lsb[i]-Lb[i])<10 && (Lsb[i]-Lb[i])>6){
#     L[i]<-10*log10((10^(Lsb[i]/10))-(10^(Lb[i]/10)))
#     Lsb[i]<-L[i]
#   }
#   else{
#     L[i]<-Lsb[i]-1.3
#     Lsb[i]<-L[i]
#   }
# }
# A<-Lsb

A<-round(A, digits=1)

for (i in -10:100){
  B1=i #fator de deslocamento
  B2 <- c(B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1)
  B3 <- B-B2 #curva padr?o delocada
  B4 <- B3-A
  B5 <- sum(B4[which(B4>0)]) #somaticia desvios desf paineis. Deve ser menor que 32
  if (B5<=32){
    break
  }
}

ntext=1.3
neixo=1.2
limy=round((max(A,B3)),digits=0)+1
cores<-c("darkcyan","brown2","green")
esp=2

CPINK<-c(-29,-26,-23,-21,-19,-17,-15,-13,-12,-11,-10,-9,-9,-9,-9,-9)
CTRAF<-c(-20,-20,-18,-16,-15,-14,-13,-12,-11,-9,-8,-9,-10,-11,-13,-15)

#CORRE??O DO ESPECTRO ROSA
SP1=CPINK-A
SP2=10^((SP1/10))
SP3=sum(SP2)
SP4=-10*log10(SP3)
SP5=(round(SP4,digits=0))
SP6=SP5-B3[8]
#print(SP6)
#CORRE??O DO ESPECTRO DE TR?FEGO
SP7=CTRAF-A
SP8=10^((SP7/10))
SP9=sum(SP8)
SP10=-10*log10(SP9)
SP11=(round(SP10,digits=0))
SP12=SP11-B3[8]
#print(SP12)

```

```

Cairo::Cairo(
  30, #length
  20, #width
  file = paste("LAJET30Imp", ".png", sep = ""),
  type = "png", #tiff
  bg = "white", #white or transparent depending on your requirement
  dpi = 300,
  units = "cm", #you can change to pixels etc
)

#Code
plot(D, A, xlab="", ylab="", xlim=c(log10(98),log10(3150)),
      ylim=c(0.00,limy),axes=FALSE,cex.lab=neixo,pch="")
clip(log10(98),log10(3150),0,limy)
abline(v=D, col = "snow2", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
abline(h=seq(1, limy, by = 1), col = "snow2", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
#title(ylab=expression('R(dB)'), line=0.5, cex.lab=neixo)
title(ylab=expression('D'[n][italic('T')]*(dB)'), line=0.5, cex.lab=neixo)
title(xlab='Frequência (Hz)', line=1.5, cex.lab=neixo)
#text(D,A,labels=round(A, digits=0),cex=ntext,pos=1)
axis(1, at = D, labels=C, cex.axis=neixo, pos=0)
axis(2, at = seq(0.0, limy, by = 1),cex.axis=neixo, pos=log10(98))
lines(D,A,lty=1,lwd=esp, col=cores[1])
points(D,A,lwd=esp,pch=0,col=cores[1],cex=ntext)
lines(D,B3,lty=1,lwd=esp, col=cores[2])
points(D,B3,lwd=esp,pch=1,col=cores[2],cex=ntext)
#lines(D,A1,lty=1,lwd=esp, col=cores[3])
#points(D,A1,lwd=esp,pch=2,col=cores[3],cex=ntext)
#textxy(D[8]-0.11,(B3[8]+3),bquote('R'[italic('w')]*(italic('C;C'[plain('tr')]*plain('
='))~.(B3[8])*('*(. (SP6)*';*(. (SP12)*'))'),cex=1.7,pos=3)
textxy(D[8]-0.11,(B3[8]+3),bquote('D'[n]
[italic('T,w')]*(italic('C;C'[plain('tr')]*plain('
='))~.(B3[8])*('*(. (SP6)*';*(. (SP12)*'))'),cex=1.7,pos=3)
arrows(x0=D[8],y0=B3[8],x1=D[8]-0.06,y1=B3[8]+3,angle=30,col="black",lwd=ntext,length=.12)
#legend(x=c(log10(500),log10(1600)),y=c(5,13),legend=c(bquote('D'[n][italic('T')]*(
dB)'),"Curva padr?o deslocada"),col=cores,lwd=esp,bg='white', x.intersp=0.5,y.intersp=1,yjust=
0.5, title="Legenda",merge=TRUE,cex=.8)
#legend(x=c(log10(500),log10(1600)),y=c(2,13),legend=c("Valores medidos (dB)","Curva padr?o
deslocada","Predi?o"),col=cores,lwd=esp,bg='white', x.intersp=0.5,y.intersp=1,yjust=0.5,
title="Legenda",merge=TRUE,cex=ntext,pch=c(0,1,2))
legend(x=c(log10(500),log10(1600)),y=c(2,13),legend=c("Valores medidos (dB)","Curva padr?o
deslocada"),col=cores,lwd=esp,bg='white', x.intersp=0.5,y.intersp=1,yjust=0.5,
title="Legenda",merge=TRUE,cex=ntext,pch=c(0,1))

#print(B5) #deve ser menor que 32
#print(B3[8])

```

Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE J - Algoritmo escrito na linguagem de programação R para interpretação gráfica dos dados das lajes

Figura 13 – Algoritmo escrito na linguagem de programação R para plotagem de gráfico de diferença de nível da laje

```

library(calibrate)
library(Cairo)

A<-
c(43.13,43.80,38.20,42.73,46.47,46.97,49.15,51.41,55.21,56.09,55.54,59.67,60.48,63.06,64.59
,65.24)#t30 impulsivo
#A<-
c(43.05,43.79,38.42,42.72,46.47,46.83,48.96,51.55,55.22,56.09,55.48,59.74,60.52,63.08,64.64
,65.23)#t20 impulsivo
#A<-
c(46.50,43.94,38.27,42.64,46.83,47.29,49.78,51.92,55.66,56.61,56.05,60.14,60.89,63.30,64.87
,65.53)#t30 interrompido
#A<-
c(44.46,44.04,38.28,42.71,46.66,47.27,49.81,52.00,55.71,56.74,56.12,60.30,60.97,63.32,64.95
,65.55)#t20 interrompido
M<-
c(44.48,46.42,48.56,50.50,52.44,54.45,56.52,58.46,60.47,62.54,64.48,66.42,68.56,70.50,72.44
,74.45)
B<-c(33,36,39,42,45,48,51,52,53,54,55,56,56,56,56) #curva padr?o
C<-c(100,125,160,200,250,315,400,500,630,800,1000,1250,1600,2000,2500,3150) #banda de 1/3
de oitava
D<-log10(C)

A<-round(A, digits=1)

for (i in -10:100){
  B1=i #fator de deslocamento
  B2 <- c(B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1)
  B3 <- B-B2 #curva padr?o delocada
  B4 <- B3-A
  B5 <- sum(B4[which(B4>0)]) #somatoria desvios desf paineis. Deve ser menor que 32
  if (B5<=32){
    break
  }
}

ntext=1.3
neixo=1.2
limy=round((max(A,B3,M)),digits=0)+1
cores<-c("darkcyan","brown2","deeppink3","green")
esp=2

CPINK<-c(-29,-26,-23,-21,-19,-17,-15,-13,-12,-11,-10,-9,-9,-9,-9,-9)
CTRAF<-c(-20,-20,-18,-16,-15,-14,-13,-12,-11,-9,-8,-9,-10,-11,-13,-15)

#CORRE??O DO ESPECTRO ROSA
SP1=CPINK-A
SP2=10^((SP1/10))
SP3=sum(SP2)
SP4=-10*log10(SP3)
SP5=(round(SP4,digits=0))
SP6=SP5-B3[8]
#print(SP6)
#CORRE??O DO ESPECTRO DE TR?FEGO
SP7=CTRAF-A
SP8=10^((SP7/10))
SP9=sum(SP8)
SP10=-10*log10(SP9)
SP11=(round(SP10,digits=0))
SP12=SP11-B3[8]
#print(SP12)

```

```

SP12=SP11-B3[8]
#print(SP12)

Cairo::Cairo(
  30, #length
  20, #width
  file = paste("LAJET30Imp", ".png", sep = ""),
  type = "png", #tiff
  bg = "white", #white or transparent depending on your requirement
  dpi = 300,
  units = "cm", #you can change to pixels etc
)

#Code
plot(D, A, xlab="", ylab="", xlim=c(log10(98),log10(3150)),
ylim=c(0.00,limy),axes=FALSE,cex.lab=neixo,pch="")
clip(log10(98),log10(3150),0,limy)
abline(v=D, col = "snow2", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
abline(h=seq(1, limy, by = 1), col = "snow2", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
#title(ylab=expression('R(dB)'), line=0.5, cex.lab=neixo)
title(ylab=expression('D'[n][italic('T')]'(dB)'), line=0.5, cex.lab=neixo)
title(xlab='Frequência (Hz)', line=1.5, cex.lab=neixo)
#text(D,A,labels=round(A, digits=0),cex=ntext,pos=1)
axis(1, at = D, labels=C, cex.axis=neixo, pos=0)
axis(2, at = seq(0.0, limy, by = 1),cex.axis=neixo, pos=log10(98))
lines(D,A,lty=1,lwd=esp, col=cores[1])
points(D,A,lwd=esp,pch=0,col=cores[1],cex=ntext)
lines(D,B3,lty=1,lwd=esp, col=cores[2])
points(D,B3,lwd=esp,pch=1,col=cores[2],cex=ntext)
#lines(D,A1,lty=1,lwd=esp, col=cores[3])
#points(D,A1,lwd=esp,pch=2,col=cores[3],cex=ntext)
lines(D,M,lty=1,lwd=esp, col=cores[3])
points(D,M,lwd=esp,pch=2,col=cores[3],cex=ntext)
#textxy(D[8]-0.11,(B3[8]+3),bquote('R'[italic('w')]'(''italic('C;C'[plain('tr')]'*plain('
=')~.(B3[8])*'('*(.SP6)*';'*(.SP12)*')'),cex=1.7,pos=3)
textxy(D[8]-0.15,(B3[8]+3.5),bquote('D'[n]
[italic('T,w')]'(''italic('C;C'[plain('tr')]'*plain('
=')~.(B3[8])*'('*(.SP6)*';'*(.SP12)*')'),cex=1.7,pos=3)
arrows(x0=D[8],y0=B3[8],x1=D[8]-0.07,y1=B3[8]+5,angle=30,col="black",lwd=ntext,length=.12)
#legend(x=c(log10(500),log10(1600)),y=c(5,13),legend=c(bquote('D'[n][italic('T')]'*
(dB)'),"Curva padr?o deslocada"),col=cores,lwd=esp,bg='white', x.intersp=0.5,y.intersp=
1,yjust=0.5, title="Legenda",merge=TRUE,cex=.8)
#legend(x=c(log10(500),log10(1600)),y=c(2,13),legend=c("Valores medidos (dB)","Curva padr?o
deslocada","Predi?o"),col=cores,lwd=esp,bg='white', x.intersp=0.5,y.intersp=1,yjust=0.5,
title="Legenda",merge=TRUE,cex=ntext,pch=c(0,1,2))
legend(x=c(log10(500),log10(1700)),y=c(3,20),legend=c("Valores medidos (dB)","Curva padr?o
deslocada","Lei das massas"),col=cores,lwd=esp,bg='white', x.intersp=0.5,y.intersp=1,yjust=
0.5, title="Legenda",merge=TRUE,cex=ntext,pch=c(0,1,2))

#print(B5) #deve ser menor que 32
#print(B3[8])

dev.off()

```

Fonte: Autoria própria (2023)

ANEXO A - Calibração dos instrumentos de medição.

Figura 14 - Certificado de calibração Termo Higro Barômetro THB-100 Instrutherm



LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO INSTRUTHERM

Certificado de Calibração

N° 138230/22

Folha 01/02

Cliente: RCK SOLUCOES E NEGOCIOS EIRELI
Endereço: RUA WILSON DE SOUZA 211 Bairro: JARDIM LINCOLN Cep. 08615-550 SUZANO - SP
Item Calibrado: TERMO-HIGRO-BAROMETRO **N° Código de barra / N° Série:** 22071501422421 / 220204091
Marca: INSTRUTHERM **Modelo:** THB-100
O.S. N°: 240963 **Data de Calibração:** 14/11/2022

Temperatura durante a calibração: 23±3°C **Umidade relativa durante a calibração:** 45 a 65% (U R)
Metodologia de Calibração

Procedimento de Calibração: PCI 008 - Rev.4 e PCI 009 - Rev.4 - Foram realizadas as calibrações através do processo de comparação com os padrões de referência.

Padrões Utilizados

LCI 56 - ROTRONIC HP22 - 60222953 - Certificado de Calibração n° E20117/22 - RBC CAL 0439 Validade até 01/2023
 LCI 144 - INSTRUTHERM EM-200 - 12120500931041 - Certificado de Calibração n° 133274R/22 - RBC CAL 0568 Validade até 06/2023
 LCI 145 - INSTRUTHERM THAB-500 - Q782975 - Certificado de Calibração n° LV00384 - 36745 - 21 - RBC CAL 0127 Validade até 12/2022

Resultados Obtidos**TERMÔMETRO**

Valor Indicado no Instrumento Calibrado (°C)	Valor Convencional (°C)	Erro (°C)	Incerteza (± °C)	k
9,8	9,9	-0,1	1,3	2,00
29,7	30,1	-0,4	1,3	2,00
40,0	40,4	-0,4	1,3	2,00

UMIDADE

Valor Indicado no Instrumento Calibrado (% U.R.)	Valor Convencional (% U.R.)	Erro (% U.R.)	Incerteza (± % U.R.)	k
45,2	45,0	0,2	3,8	2,00
76,2	76,7	-0,5	3,8	2,00

INSTRUTHERM INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA

Rua Jorge de Freitas, 264 - Freguesia do Ó - São Paulo - SP - CEP: 02911-030

Inscrição no CNPJ n°: 53.775.862/0001-52 - Inscrição Estadual n°: 111.093.664.118 - Inscrição no CCM n°: 9.155.648-1

Tel: (11) 2144-2800 E-mail: instrutherm@instrutherm.com.br Site: www.instrutherm.com.br

Fonte: Laboratório de calibração Instrutherm (2023)

Figura 15 - Certificado de calibração de pressão Termo Higro Barômetro



LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO INSTRUTHERM

Certificado de Calibração

Nº 138230/22

Folha 02/02

PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Valor Indicado no Instrumento Calibrado (hPa)	Valor Convencional (hPa)	Erro (hPa)	Incerteza (± hPa)	k
931,8	930,5	1,3	0,4	2,00

Notas

A incerteza expandida relatada é baseada em uma incerteza padrão combinada e multiplicada pelos fatores de abrangência 'k' informados nas tabelas, para um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente ao item calibrado e às condições supra mencionadas. Os serviços de calibração são realizados e controlados pela INSTRUTHERM-Instrumentos de Medição Ltda. O presente certificado somente pode ser reproduzido na sua forma e conteúdo integrais e sem alterações. Não pode ser utilizado para fins promocionais.

Data de emissão do certificado: 14/11/2022

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO INSTRUTHERM
Cristiano José Mollica
Gerente Técnico

INSTRUTHERM INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA

Rua Jorge de Freitas, 264 - Freguesia do Ó - São Paulo - SP -, CEP: 02911-030

Inscrição no CNPJ nº: 53.775.862/0001-52 - Inscrição Estadual nº: 111.093.664.118 - Inscrição no CCM nº: 9.155.648-1

☎ Tel: (11) 2144-2800 ✉ E-mail: instrutherm@instrutherm.com.br 🌐 Site: www.instrutherm.com.br

Fonte: Laboratório de calibração Instrutherm (2023)

Figura 16 - Certificado de calibração do sonômetro 2250 Brüel & Kjær



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO
RBC-A-2022/147



1 - Cliente

Nome: Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Endereço: Avenida Professora Laura Pacheco Barros, 800 - Industrial - Guarapuava / PR

2 - Dados do Equipamento

Equipamento: Medidor de Nível de Pressão Sonora
Fabricante: Brüel & Kjaer Modelo: 2250
Nº de Série: 3029050 Patrimônio: 628335 OS nº: 23166

3 - Padrões Utilizados

Descrição	Data de Calibração	Certificado	Emitente	Validade
Sistema Norsonic 483B + DS360A	10/03/2020	DIMCI 0281/2020	INMETRO	4 anos
Barômetro Vaisala - PTU-300	01/03/2019	CAL-170188/19	ABSI	4 anos
Barômetro Vaisala - PTU-300	06/03/2019	CAL-170187/19	ABSI	4 anos
Calibrador Acústico CR:511E	01/07/2021	RBC-A-2021/337	dpUNION	2 anos

Informações de Calibração

Data de Calibração: 08/04/2022
Procedimento Utilizado: Procedimento Operacional POP – 5.4 – 07 Rev.05 - Calibração de Medidores de Nível Pressão Sonora.
Condições Ambientais: Temperatura: 23,4°C Umidade: 64,0% Pressão: 92,8kPa

Instrumento calibrado utilizando o calibrador acústico Cirrus Research modelo CR:511E número 037537 do próprio laboratório.

Figura 17 - Certificado de calibração do microfone capacitivo 4189 Brüel & Kjær



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO
RBC-A-2022/149



1- Cliente

Nome: Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Endereço: Avenida Professora Laura Pacheco Barros, 800 - Industrial - Guarapuava / PR

2- Dados do Equipamento

Equipamento: Microfone Capacitivo
Fabricante: Brüel & Kjær Modelo: 4189
Num. de Série: 3260608 O.S.: N/A

3- Padrões Utilizados

Descrição	Data de Calibração	Certificado	Emitente	Validade
Sistema Norsonic 483B + DS360A	10/03/2020	DIMCI 0281/2020	INMETRO	4 anos
Atuador Eletrostático Norsonic 1265cc	18/03/2020	DIMCI 0321/2020	INMETRO	4 anos
Barômetro Vaisala - PTU-300	06/03/2019	CAL:170187/19	ABSI	4 anos
Barômetro Vaisala - PTU-300	01/03/2019	CAL:170188/19	ABSI	4 anos
Multímetro Agilent 34401A	17/07/2020	179986-101	IPT	4 anos
Pistonphone Bruel & Kjær 4228	04/01/2019	DIMCI 0008/19	INMETRO	4 anos
Microfone Nor1236 - Norsonic	03/06/2019	RBC2-10745-519	Total Safety	4 anos

4- Informações de Calibração

Data de Calibração: 08/04/2022

Procedimento Utilizado: Procedimento Operacional POP – 5.4 – 08 Rev. 02 - Calibração de microfones de medição pelo método do atuador eletrostático.

Condições Ambientais: Temperatura 24,5°C Umidade 63,4% Pressão 92,7kPa

Figura 18 - Certificado de calibração do calibrador 4231 Brüel & Kjær



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO
RBC-A-2022/151

1- Cliente

Nome: Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Endereço: Avenida Professora Laura Pacheco Barros, 800 - Industrial - Guarapuava / PR

2- Dados do Equipamento

Equipamento: Calibrador Acústico
Fabricante: Brüel & Kjaer Modelo: 4231
Nº de Série: 3025920 Patrimônio: 628335 OS nº: 23170

3- Padrões Utilizados

Descrição	Data de Calibração	Certificado	Emitente	Validade
Sistema Norsonic 483B + DS360A	10/03/2020	DIMCI 0281/2020	INMETRO	4 anos
Barômetro Vaisala - PTU-300	01/03/2019	CAL-170188/19	ABSI	4 anos
Barômetro Vaisala - PTU-300	06/03/2019	CAL-170187/19	ABSI	4 anos
Multímetro Agilent 34401A	17/07/2020	179986-101	IPT	4 anos
Microfone de Medição Norsonic 1236	03/06/2019	RBC2-10745-519	Total Safety	4 anos
Pistãofone B&K 4228	04/01/2019	DIMCI 0008/2019	INMETRO	4 anos

4- Informações de Calibração

Data de Calibração: 08/04/2022
Procedimento Utilizado: Procedimento Utilizado: Procedimento Operacional POP-5.4-06 - Rev03 - Calibração de calibradores acústicos.
Condições Ambientais: Temperatura: 21,6°C Umidade: 63,4% Pressão: 92,52kPa

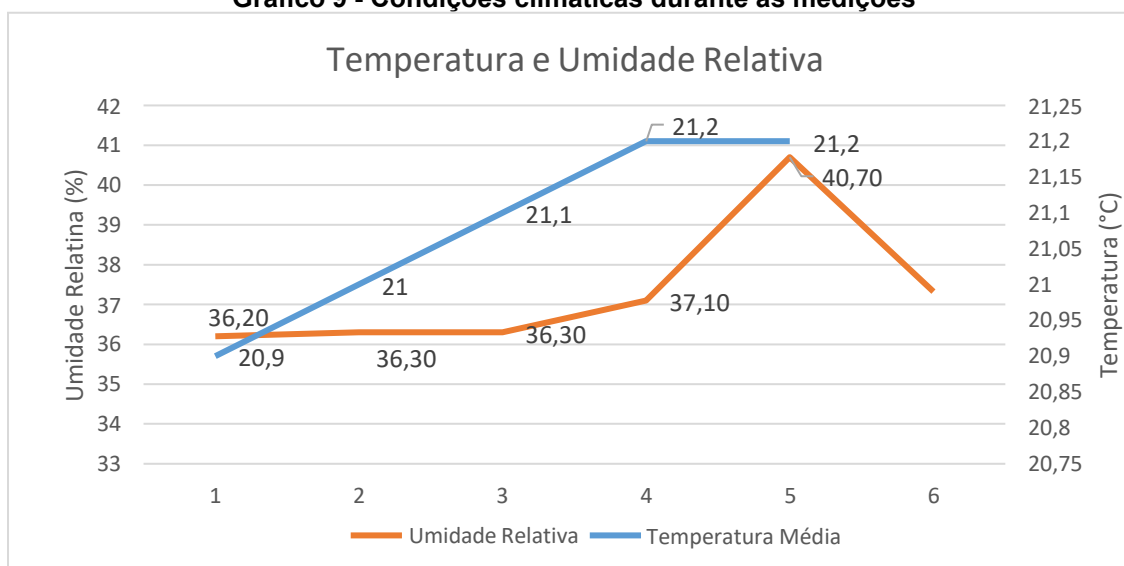
ANEXO B - Condições climáticas aferidas por barômetro.

Tabela 17 - Condições climáticas aferidas por barômetro

Pontos	Temperatura	Umidade	Pressão
	(°C)	(%)	(hPa)
1	20,9	36,20	904,3
2	21	36,30	904,3
3	21,1	36,30	904,3
4	21,2	37,10	904,3
5	21,2	40,70	904,3

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 9 - Condições climáticas durante as medições



Fonte: Autoria própria (2023)