

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

WICTOR RAFAEL SAR

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO
COM BLOCOS DE EPS PREENCHIDOS COM CONCRETO: ANÁLISE EM UMA
FACHADA RESIDENCIAL**

GUARAPUAVA

2025

WICTOR RAFAEL SAR

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO
COM BLOCOS DE EPS PREENCHIDOS COM CONCRETO: ANÁLISE EM UMA
FACHADA RESIDENCIAL**

**Evaluation of the acoustic performance of a construction system using eps
blocks filled with concrete: analysis in a residential front**

Trabalho de conclusão de curso como requisito
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).
Orientador: Rodrigo Scoczynski Ribeiro.

GUARAPUAVA

2025



[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.

WICTOR RAFAEL SAR

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO
COM BLOCOS DE EPS PREENCHIDOS COM CONCRETO: ANÁLISE EM UMA
FACHADA RESIDENCIAL**

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/junho/2025

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

Aline Ramos Esperidião
Mestre em Engenharia Civil
Universo Ramon Llull - Espanha

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

GUARAPUAVA

2025

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo
apoio ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, aqueles que são o motivo de eu chegar tão longe meus pais, Iracema e Luiz, por todo incentivo para correr atrás dos meus sonhos, e sempre estiveram ao meu lado e tornaram essa conquista possível. Saibam que tenho como minhas maiores inspirações e espero poder tudo o que vocês sempre desejaram para mim.

Aos meus irmãos, Norton, Rui e Wagner, deixo registrado minha eterna gratidão. Sempre me apoiaram, acreditaram ao meu potencial, me incentivaram e jamais deixaram de confiar em mim.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro, por toda a orientação, dedicação ao longo desta jornada. Sempre prestativo e disposto a ajudar, dentro e fora da sala de aula. O ensino brasileiro precisa de mais professores como você.

Aos meus amigos mais próximos, que conheci na correria do dia a dia da faculdade, e tornam essa fase mais leve e divertida, Ryan Ken, Alex Machado, sempre terei boas memórias dos tempos que passamos juntos.

Queria agradecer à Brick Engenharia. Tenho um grande carinho por todo tempo que eu passei na empresa júnior, fiz grandes amizades lá dentro que espero levar para a vida, aprendi muito sobre as coisas mais diversas e me diverti muito no processo. Fico muito feliz de ter vivenciado o Movimento Empresa Júnior.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por disponibilizar todos os equipamentos necessários para a realização deste trabalho e por proporcionar uma oportunidade de uma graduação de qualidade a todos os seus alunos.

RESUMO

O conforto acústico é um fator primordial na escolha de uma moradia, pois implica significativamente na qualidade de vida do ser humano. Com a urbanização das cidades, a geração de ruídos tem se tornando cada vez mais presente no cotidiano das pessoas. Diante disso, este trabalho avaliou o desempenho acústico de uma fachada residencial construída com blocos de poliestireno expandido (EPS) preenchidos com concreto, localizada em Guarapuava - PR. A metodologia baseou-se na norma ABNT NBR ISO 16283-3:2021, utilizando medição em campo, com o auxílio de equipamentos específicos, os dados foram coletados e analisados por meio de softwares. Os resultados indicaram que a fachada atingiu um índice de isolamento sonoro padronizado de 25 dB, atendendo à Classe de Ruído I, conforme os critérios da ABNT NBR 15575-4:2021, cujo valor mínimo exigido é de 20 dB. Por fim, sugere-se para trabalhos futuros a elaboração de um mapa de ruído da região, projetando o volume de tráfego urbano.

Palavras-chave: conforto acústico; desempenho de fachadas; EPS; ruído aéreo.

ABSTRACT

Acoustic comfort is a primary factor in choosing of housing, as it significantly impacts human quality of life. With increasing urbanization, noise generation has become more prevalent in people's daily lives. Therefore, this study evaluated the acoustic performance of a residential facade constructed with expanded polystyrene (EPS) blocks filled with concrete, located in Guarapuava - PR, Brazil. The methodology was based on the ABNT NBR ISO 16283-3:2021 standard, using field measurements. Data were collected with specific equipment and analyzed using specialized software. The results indicated that the facade achieved a standardized sound insulation index of 25 dB, meeting Noise Class I requirements according to ABNT NBR 15575-4:2021, which specifies a minimum value of 20 dB. Finally, for future work, we suggest developing a noise map of the region, projecting urban traffic volume.

Keywords: acoustic comfort; facade performance; EPS; airborne noise.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ruído Aéreo	16
Figura 2 - Ruído de Impacto	17
Figura 3 - EPS	22
Figura 4 - Blocos de EPS	23
Figura 5 - Casa em EPS	24
Figura 6 - Sonômetro Tipo 2250 Brüel & Kjær de Classe 1.....	26
Figura 7 - Calibrador 4231 Brüel & Kjær - Classe 1.....	27
Figura 8 - Amplificador de som Hyper modelo FA501	27
Figura 9 - Fonte Sonora Omnidirecional	28
Figura 10 - Localização da Residência	29
Figura 11 - Linha Férrea raio de 1 km do local	30
Figura 12 - Dimensões Blocos de EPS	30
Figura 13 - Formas de EPS com Concreto	31
Figura 14 - Planta Baixa do Cômodo Analisado (em cm)	31
Figura 15 - Posições dos Equipamentos de Medição no Cômodo Analisado ...	33
Figura 16 - Posicionamento dos Equipamentos.....	34
Figura 17 - Sonômetro no Interior do Cômodo Analisado.....	34
Figura 18 - Posições do sonômetro dentro do cômodo analisado	35
Figura 19 - Desempenho acústico da fachada estudada	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nível de pressão Sonora médio à 2,00 m da fachada	38
Tabela 2 - Nível de pressão sonora interna média	39
Tabela 3 - Tempo de reverberação médio no cômodo analisado	40
Tabela 4 - Nível médio do ruído de fundo	40
Tabela 5 - Média energética da diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada.....	41
Tabela 6 - Comparativo do desempenho acústico	43
Tabela 7 - Dados do nível de pressão sonora na parte externa a 2 metros da fachada.....	52
Tabela 8 - Dados do nível de pressão sonora do ambiente interno	54
Tabela 9 - Dados do ruído de fundo do ambiente	56
Tabela 10 - Dados de medição do tempo de reverberação com a posição de fonte 1	58
Tabela 11 - Dados de medição do tempo de reverberação com a posição de fonte 2	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. Som e Ruído	15
3.1.1. Ruído Aéreo	16
3.1.2. Ruído de Impacto	16
3.1.3. Ruído de Fundo	17
3.1.4. Ruído Rosa	18
3.2. Ondas Sonoras	18
3.3. Tempo de Reverberação	18
3.4. Isolamento Acústico	19
3.5. Referência Normativa	20
3.5.1. ABNT NBR 15575:2021	20
3.5.1.1. Requisitos de desempenho	20
3.5.2. ABNT NBR ISO 16283:2021	21
3.6. Sistema Construtivo	21
3.6.1. EPS (Poliestireno expandido)	21
3.6.2. Sistema de vedação vertical em ICF (Insulated concrete forms)	22
3.6.3. Alvenaria convencional	24
3.7. Mapa de Ruído	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1. Classificação da pesquisa	25
4.2. Materiais	26
4.3. Métodos	28
4.3.1. Caracterização do Local de Estudo	28
4.3.2. Caracterização da Fachada	30
4.3.3. Caracterização do Ambiente Interno	31
4.3.4. Caracterização do Ensaio	32
4.3.4.1. Medição do Tempo de Reverberação – Procedimento Padrão	32
4.3.4.2. Medições de Campo do Nível de Pressão Sonoro Externo	33
4.3.4.3. Medições de Campo do Nível de Pressão Sonoro Interno – Procedimento Padrão	34

4.3.5. Médias Energéticas do Procedimento Padrão	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1. Resultados para nível de pressão sonora externa	38
5.2. Resultados para o nível de pressão sonora interna	39
5.3. Resultados para o tempo de reverberação	39
5.4. Resultados para o ruído de fundo	40
5.5. Média energética da diferença padronizada a 2 metros da fachada	41
5.6. Sugestões de melhorias	43
6. CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45
ANEXO A – Certificados de calibração dos materiais utilizados	47
APÊNDICE A - Dados dos níveis de pressão sonora externa	51
APÊNDICE B – Dados do nível de pressão sonora interna	53
APÊNDICE C – Dados do ruído de fundo	55
APÊNDICE D – Dados do tempo de reverberação T_{30}	57
APÊNDICE F – Código R utilizado para gerar o gráfico	59

1. INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada das cidades contribuiu para a multiplicação do número de fontes de ruído e de ambientes cada vez mais irritantes, interferindo em atividades diárias da população, como estudo, trabalho, lazer e descanso (GUEDES; BERTOLI; ZANNIN, 2011). Embora a urbanização possa trazer benefícios para a saúde e a economia, a urbanização rápida e não planejada pode gerar diversos impactos negativos na saúde social e ambiental, afetando com maior intensidade os mais pobres e vulneráveis (WHO, 2021). Nesse cenário, a indústria da construção civil busca constantemente por soluções inovadoras e sustentáveis. Com isso, o sistema construtivo à base de blocos de poliestireno expandido (EPS) preenchidos com concreto surge com uma opção inovadora, oferecendo características de leveza, isolamento térmico e acústico (SILVA, 2018).

Neste contexto, pesquisadores ao redor do mundo têm buscado descrever esses ruídos, na intenção de identificar os malefícios que eles acarretam aos seres humanos (FERREIRA; ZANNIN, 2007). Conforme a ABNT NBR 15575:2021, o isolamento acústico em edificações residenciais tem objetivo impedir a transmissão de sons ou ruídos aéreos provenientes do ambiente externo para os ambientes comuns privativos (MURAOKA, 2023). Portanto, o isolamento acústico adequado em edificações residenciais é fundamental para minimizar a transmissão de ruídos externos e garantir ambientes internos mais silenciosos e confortáveis.

No Brasil, a norma ABNT NBR 15575:2021 estabelece os requisitos mínimos de desempenho para edificações habitacionais, incluindo critérios de isolamento acústico para fachadas e paredes internas. Essa normativa visa garantir que as edificações atendam a padrões mínimos de conforto e segurança, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população. No entanto, a implementação desses requisitos ainda enfrenta desafios, especialmente em sistemas construtivos inovadores, que necessitam de estudos específicos para comprovar sua eficácia.

Dessa forma a realização de pesquisas em relação à análise dos padrões de desempenho acústicos possibilita a coleta de dados para a realização de análises comparativas entre outros diversos sistemas construtivos presentes na literatura brasileira. Assim, crescendo a base de dados para a elaboração de futuras edificações que atendam à normativa relacionada ao isolamento acústico.

2. OBJETIVO

Neste tópico serão descritos os objetivos deste trabalho, divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

2.1. Objetivo geral

Avaliar o isolamento acústico da fachada de dormitório de uma residência, onde o método construtivo é por meio de blocos de EPS com preenchidos de concreto, localizada na cidade de Guarapuava - PR.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o atendimento aos critérios acústicos da norma de desempenho NBR 15575:2021;
- Realizar medições de campo dos níveis de pressão sonora externa e interna, e o tempo de reverberação, conforme as diretrizes da ABNT ISSO 16283-3:2021;
- Identificar a classe de ruído em que se encontra a edificação para definição do nível de isolamento;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a revisão bibliográfica da temática abordada através de tópicos relacionados à referência normativa, propriedades físicas da acústica, sistemas construtivos.

3.1. Som e Ruído

Segundo Bistafa (2018), o som é definido como a sensação percebida pelo sistema auditivo, enquanto o ruído é caracterizado como um som indesejável, o qual, na maioria das vezes, tem influências na saúde e qualidade de vida das pessoas. O som é entendido como uma vibração que se propaga pelo ar em forma de ondas, sendo captada pelo sistema auditivo humano. De acordo com KINSLER et al. (2000), o fenômeno acústico mais reconhecível está diretamente relacionado à percepção do som. Em média, a percepção auditiva humana ocorre nas frequências que vão 20 Hz e 20.000 Hz (1 Hz = 1 hertz = 1 ciclo por segundo). Kinsler ainda complementa que, de maneira mais abrangente, a acústica aborda também as frequências ultrassônicas acima de 20.000 Hz e as frequências infrassônicas abaixo de 20 Hz.

O ruído, por sua vez, é considerado um agente contaminante de tipo físico; sendo um som indesejável e, portanto, incômodo. Ele é definido como o som ou grupo de sons de tal amplitude que pode ocasionar adoecimentos ou interferência no processo de comunicação (GANIME et al., 2010).

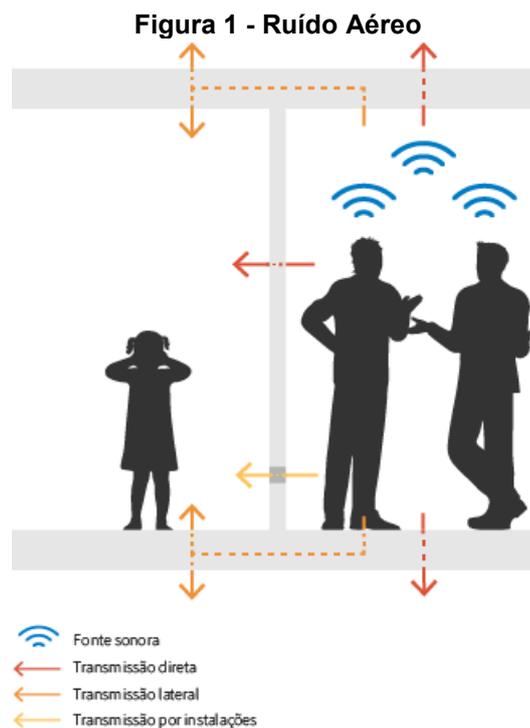
Na maioria das vezes, ruídos geram diversos efeitos indesejáveis, como: em níveis suficientemente elevados, podem causar perda da audição e aumento da pressão arterial (efeitos fisiológicos), incômodos (efeitos psicológicos), por exemplo, perturbação do sono, estresse, tensão, queda do desempenho (BISTAFA, 2018, p. 17).

Fisicamente, não há uma distinção clara entre som e ruído, no entanto, de modo geral, o som é associado a sensações agradáveis, como as proporcionadas por músicas ou instrumentos, enquanto o ruído é comumente relacionado a aspectos negativos e desagradáveis. Segundo BRANDÃO (2016), os sons com frequências baixas são classificados como sons graves, como no caso do som produzido pelo bumbo de uma bateria, por outro lado, os sons agudos são aqueles originados de frequências altas, exemplificado como o som emitido por um violino em uma orquestra.

3.1.1. Ruído Aéreo

De acordo com British Standards Institution (2014, p.59), o ruído aéreo é definido como sons gerados por fontes, sejam externos ou internos, que vibram diretamente o ar ao seu redor. Tomando como exemplo os tipos de emissores de ruído, podem-se citar automóveis, equipamentos de construção, sons de animais, a voz humana, entre outros. Deste modo, a propagação do ruído ocorre tanto pelo ar quanto através dos elementos da edificação.

Os pontos fracos de uma edificação, que podem comprometer o isolamento acústico do sistema de vedação, permitindo a transmissão de ruídos aéreos para o interior dos ambientes, são principalmente as portas e janelas. Dessa forma, a escolha adequada do sistema e dos elementos construtivos torna-se essencial para garantir um bom desempenho acústico (CROCKER; 2021).



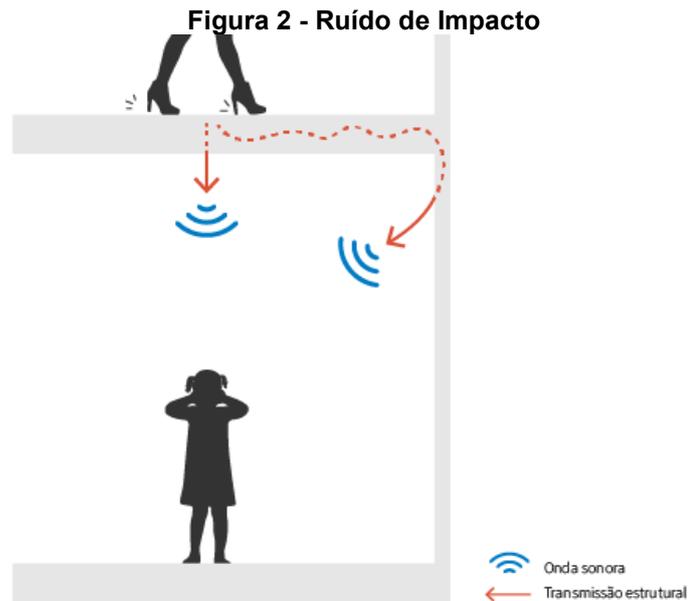
Fonte: SOPREMA (2020)

3.1.2. Ruído de Impacto

O som de impacto é o ruído causado por fontes que produzem excitação mecânica impulsiva em partes de uma edificação, como passos, impacto em pisos, móveis arrastados, martelas, entre outros. (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2014). Dessa forma, é de extrema importância que o isolamento do ruído de impacto,

em pisos ou fachada de edificações, seja adequado, de modo a garantir condições de habitabilidade e salubridade acústica em ambientes residenciais (FERRAZ, 2008).

Em regra, um ruído de impulso é descrito como tendo um pico de energia com tempo de duração inferior a um segundo e, se repetido, ocorre em intervalos de duração superiores a um segundo (ARENAS; CROCKER, 2021).



Fonte: SOPREMA (2020)

3.1.3. Ruído de Fundo

Conhecidos como ruídos residuais ou ruídos de fundo, esses sons são gerados no interior de um ambiente, geralmente resultantes das atividades desenvolvidas em seu interior (REZENDE et al., 2014).

Segundo Souza (2012), ao buscar o conforto acústico adequado para cada ambiente, nem sempre é necessário isolar completamente os ruídos gerados. Em espaços mais comuns, é preciso apenas que haja redução de ruídos, uma vez que, em condições de total silêncio, a percepção de sons de pequena intensidade, que podem ser eliminadas através do mascaramento gerado pelo ruído de fundo, aumentam.

3.1.4. Ruído Rosa

Esse ruído é caracterizado por apresentar um decaimento de 3 dB a cada oitava, assemelhando-se ao comportamento de certos equipamentos. Ele é recomendado para análises de sistemas acústicos, pois oferece um nível sonoro constante ao longo de todas as bandas de frequência dos filtros. (BISTAFA, 2018).

A denominação "ruído rosa" surge de uma analogia com o espectro de luz. Assim como a luz vermelha corresponde à frequência mais baixa do espectro visível, o ruído rosa apresenta uma maior concentração de energia nas frequências mais baixas. Entre todos os tipos de ruídos, o ruído rosa é o que mais se assemelha aos sons encontrados na natureza. Quando adequadamente equalizado, ele pode ser utilizado para reproduzir sons naturais, como chuva, cachoeira, vento, o fluxo de um rio, entre outros (FILHO; DELCASTAGNÊ, 2002).

3.2. Ondas Sonoras

As ondas sonoras são ondas mecânicas que se propagam exclusivamente por meio de um meio material. Elas surgem a partir de oscilações de pressão ou tensão no meio de propagação em torno de suas posições de equilíbrio (REZENDE et al., 2014). Essas ondas são pulsos energéticos que se propagam através de um meio, podendo ser líquido, sólido ou gasoso (KINSLER et al., 2000).

3.3. Tempo de Reverberação

De acordo com a ABNT NBR 16313:2014 "Acústica – Terminologia", o tempo de reverberação (T_{60}) é definido como o intervalo de tempo necessário para que o nível de pressão sonora em um ambiente interno de uma edificação diminua em 60 dB após a interrupção da emissão sonora. Esse parâmetro pode ser utilizado como um indicador da qualidade acústica de um ambiente. O tempo de reverberação é obtido experimentalmente por meio de diferentes métodos e pode ser calculado utilizando a Fórmula de Sabine.

$$T_{60} = \frac{0,161 * V}{A}$$

Onde:

T_{60} é o tempo de reverberação, em segundos (s);

V é o volume da sala, em metros cúbicos (m^3);

A é a absorção total da sala ($\sum Si\alpha_i$), em metros quadrados (m^2).

S_i é a área superficial de cada elemento da sala, em metros quadrados (m^2);
 α_i é o coeficiente médio de absorção sonora correspondente de cada elemento.

3.4. Isolamento Acústico

O isolamento acústico é um elemento essencial para o controle de ruídos em diversos ambientes. Ele se refere à capacidade dos componentes construtivos de reduzir a transmissão de som entre ambientes, assegurando uma diminuição eficaz de interferências sonoras indesejadas. (PROACÚSTICA, 2019). Caso o material reflita grande parte da energia sonora incidente nele ou promova a perda de energia sonora de outra forma, de modo a evitar que ela seja transmitida de um meio para o outro, caracteriza-se como um bom isolante acústico (CARVALHO, 2006).

A escolha do tratamento acústico adequado varia conforme o tipo de ruído presente no ambiente. Para ruídos aéreos, que se propagam através do ar, o controle é feito por meio de sistemas construtivos de isolamento acústico. Já no caso de ruídos de impacto, como o som de passos ou de objetos caindo, e de vibrações, a solução envolve o isolamento específico de elementos construtivos, cujas propriedades são avaliadas em laboratório (SOUZA et al., 2012). Cada um desses tipos de ruído exige abordagens distintas para garantir uma eficiência máxima no controle do som transmitido.

O isolamento acústico pode ser obtido de duas formas distintas: de maneira isolada, em que cada material é avaliado por meio de ensaios laboratoriais, utilizando softwares que consideram propriedades geométricas e mecânicas do sistema construtivo escolhido; ou por meio de ensaios de campo, onde todos os materiais empregados são testados em conjunto, avaliando seu desempenho acústico de forma integrada (OLIVEIRA; HEISLLER, 2020).

Além desses parâmetros, o desempenho do isolamento acústico também é influenciado por fatores como a densidade dos materiais, a presença de camadas adicionais, como mantas acústicas, e a vedação das juntas e aberturas. Em projetos arquitetônicos, o planejamento acústico adequado envolve tanto a escolha correta dos materiais quanto a implementação de técnicas construtivas que maximizem o isolamento entre ambientes, garantindo um conforto acústico superior (OLIVEIRA, 2020).

3.5. Referência Normativa

3.5.1. ABNT NBR 15575:2021

Em vigor a ABNT NBR 15575:2021 “Edificações habitacionais – Desempenho” tem como objetivo estabelecer requisitos e critérios para avaliar o desempenho de edificações habitacionais, considerando todos os sistemas construtivos e os materiais utilizados, é organizada da seguinte forma:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

3.5.1.1. Requisitos de desempenho

Dentre os diversos requisitos que a ABNT NBR 15575:2021 aborda, estão presentes uma lista de exigências em relação à habitabilidade de edificação, que são expressos da seguinte forma:

- Estanqueidade;
- Desempenho térmico;
- Desempenho acústico;
- Desempenho luminotécnico;
- Saúde, higiene e qualidade do ar
- Funcionalidade e acessibilidade;
- Conforto tátil e antropodinâmico.

Aprofundando no item 12 “Desempenho acústico” da Norma, tem-se que a edificação habitacional necessita dispor o isolamento acústico apropriado das vedações externas em relação aos ruídos aéreos originários do exterior da edificação, assim como possuir isolamento acústico adequado para as áreas comuns e privativas e entre diferentes unidades autônomas. Deste modo, dispõe-se os seguintes requisitos, que são discutidos nas partes 3, 4 e 5 da Norma:

- Requisito – Isolamento acústico de vedações externas;
- Requisito – Isolamento acústico entre ambientes;

- Requisito – Isolamento a ruídos de impactos.

3.5.2. ABNT NBR ISO 16283:2021

A ABNT NBR ISO 16283:2021 “Acústica – Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações”, especifica procedimentos referentes a medições de campo para determinação do isolamento acústico nas edificações, de modo a avaliar os sistemas construtivos (ABNT, 2021).

A divisão da Norma de título geral “Acústica — Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações” é feita da seguinte forma:

- Parte 1: Isolamento a ruído aéreo;
- Parte 2: Isolamento a ruído de impacto;
- Parte 3: Isolamento de fachada a ruído aéreo.

A ABNT NBR ISO 16283-1:2021, especifica procedimentos para determinar o isolamento apenas a ruído aéreo entre duas salas. Os procedimentos da Norma são destinados a salas de volume na faixa de 10m³ a 250m³, com frequências variando de 50 Hz a 5000 Hz.

A ABNT NBR ISO 16283-3:2021, especifica procedimentos para determinar o isolamento de elementos de fachada e fachadas inteiras frente ao ruído aéreo. Os procedimentos da Norma são destinados a salas com volume de 10 m³ a 250 m³, com frequências variando de 50 Hz a 5000 Hz.

3.6. Sistema Construtivo

O presente capítulo visa a apresentação do sistema construtivo utilizado para a execução da fachada em estudo.

3.6.1. EPS (Poliestireno expandido)

EPS é a sigla internacional para Poliestireno Expandido. No Brasil, o material é popularmente conhecido como Isopor®, uma marca registrada da empresa Knauf Isopor. Ele foi descoberto na Alemanha em 1949 pelos químicos Fritz Stasny e Karl Buchholz (KNAUF, s/d).

O EPS é um hidrocarboneto puro composto por carbono, hidrogênio e 98% de ar, tornando-se um material endurecido e leve. Poliestireno são esferas pequenas

de 0,5 mm a 2,4 mm, com gás pentano (C₅H₁₂), onde tal, faz o material se expandir. Ainda, o poliestireno é resistente ao mofo, bolor, umidade, cupim e infestação de insetos (BASTOS JUNIOR, 2018).

Figura 3 - EPS



Fonte: Mundo Isopor (2025).

Este material se destaca por suas diversas características, particularidades e funcionalidades. Entre as principais, podemos citar: capacidade de isolamento térmico e acústico, baixo peso, elevada resistência mecânica, versatilidade, alta absorção de choques, facilidade de manuseio, resistência a intempéries, resistência à compressão e baixa absorção de água (SILVA, 2018).

Nos últimos anos, a utilização desse material na indústria da construção civil tem crescido de forma expressiva. Sua versatilidade e praticidade permitem o desenvolvimento de projetos cada vez mais inovadores, econômicos e sustentáveis. O material pode ser aplicado em diversas áreas, como enchimento de lajes, telhas, sistemas construtivos, concreto leve, forros, estabilização de solos, entre outras (TESSARI, 2006).

3.6.2. Sistema de vedação vertical em ICF (Insulated concrete forms)

O ICF (Insulated Concrete Forms), este material é um sistema composto por blocos de poliestireno expandido (EPS), unidos por ligações de aço ou plástico integrante do mesmo material isolante, formando assim uma fôrma para concreto isolante (BASTOS JUNIOR, 2018).

As sistema de ICF são painéis conectados que são empilhados a seco e preenchidas com concreto por bombeamento e lançamento do local. Essas fôrmas

podem ser dispostas horizontalmente, verticalmente ou em painéis maiores rígidos, já com o vergalhão pré-posicionado. Os blocos se encaixam tipo lego, que fazem a fôrma de concreto para paredes de vedação ou de estrutura (PIERSON, 2021), com esse sistema, não há necessidade de usar vigas ou pilares (AMARAL, 2024).

Figura 4 – Blocos de EPS



Fonte: IPT (2023)

Segundo Antunes e Junior (2021), o sistema construtivo em ICF representa uma inovação significativa para a construção civil, oferecendo uma alternativa altamente resistente em comparação com métodos tradicionais, além de trazer um conforto térmico e acústico para o empreendimento.

Figura 5 - Casa em EPS

Fonte: Autoria própria (2025)

Este sistema de construção admite qualquer tipo de fundação, mas deve dar preferência à radier ou sapata corrida, pois de acordo com Jesus e Barreto (2018), estas fundações permitem realizar as marcações dos perímetros de paredes e colaboram na orientação das fôrmas.

3.6.3. Alvenaria convencional

Conforme Thomas et al (2009), a alvenaria convencional ou de vedação, tem como principal função dividir os ambientes internos e preencher os vãos entre os elementos estruturais da edificação, como pilares e vigas de concreto, aço ou outros materiais. Esse tipo de alvenaria tem por características sua neutralidade em relação as cargas verticais da edificação, suportando apenas as provenientes de seu peso próprio, esquadrias e dos equipamentos domésticos eventualmente fixados em sua superfície durante o uso do ambiente.

Sendo o método mais empregado no Brasil, esse tipo de alvenaria de vedação utiliza blocos cerâmicos e argamassa de assentamento para sua execução. Sua aplicação na edificação exige a presença de elementos estruturais, como vigas, pilares e lajes que garantem a adequada transferência das cargas para a fundação. Entre suas características, destaca-se o bom desempenho de isolamento térmico e acústico, que depende da vedação propriamente dita, da geometria e das formas de conexão entre as estruturas (FRASSON, 2017).

3.7. Mapa de Ruído

O mapa de ruído é uma ferramenta fundamental na avaliação da poluição sonora em ambientes urbanos e no entorno de edificações. Indicando as áreas mais afetadas pela poluição sonora, bem como as principais fontes sonoras, os mapas permitem localizar os pontos críticos e identificar as fontes predominantes, como tráfego de veículos, indústrias e atividades comerciais (ALMEIDA, 2020).

O mapa de ruído é uma ferramenta fundamental na avaliação da poluição sonora em ambientes urbanos e no entorno de edificações. Santos e Valado (2004), destacam que uma das principais finalidades dos mapas de ruído é sua utilização como ferramenta de apoio ao planejamento territorial de um determinado município e articulação com os órgãos responsáveis pela gestão ambiental.

Os mapas de ruído podem ser elaborados em diferentes escalas, abrangendo desde uma quadra até um bairro ou mesmo toda a área urbana de uma cidade. Sua obtenção pode ocorrer por meio de complexidade de níveis sonoros, seguindo uma malha de pontos previamente definidos, ou por meio da utilização de softwares comerciais de simulação acústica (GUEDES, 2015).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Classificação da pesquisa

Segundo Fellows e Liu (2015), o presente trabalho se caracteriza como uma pesquisa aplicada, uma vez que tem como objetivo obter parâmetros de desempenho por meio da aplicação de conceitos de desempenho acústico, sem que haja colaboração para a base teórica já existente.

Pesquisas aplicadas, em sua grande maioria relatam a solução de um problema, assim como este trabalho. Neste caso, o problema tratado é o isolamento acústico da fachada de uma habitação em compreendida em uma residência de poliestireno expandido (EPS) preenchidos com concreto que está localizada na cidade Guarapuava – PR.

A seguir, será clarificado os procedimentos fundamentais para a execução da avaliação do desempenho acústico da edificação em questão.

4.2. Materiais

- Código R, linguagem de programação que fornece os gráficos de desempenho;
- Software Microsoft Excel;
- Software Audacity, gerador de ruído rosa durante as medições;
- Sonômetro Tipo 2250 da marca Brüel & Kjær - Classe 1, conforme Figura 6;

Figura 6 – Sonômetro Tipo 2250 Brüel & Kjær de Classe 1



Fonte: Autoria própria (2025)

- Calibrador de nível sonoro da marca Brüel & Kjær modelo 4231 - Classe 1, conforme Figura 7;

Figura 7 - Calibrador 4231 Brüel & Kjær - Classe 1



Fonte: Autoria própria (2025)

- Amplificador modelo FA501 da marca Hypex, com potência máxima de 650W, conforme Figura 8;

Figura 8 - Amplificador de som Hyper modelo FA501



Fonte: Adaptado Muraoka (2023)

- Fonte sonora omnidirecional da marca Grom, modelo DDC – 100, conforme Figura 9;

Figura 9 - Fonte Sonora Omnidirecional



Fonte: A autoria própria (2025)

4.3. Métodos

O método utilizado nesta pesquisa para as medições em campo foi o método de engenharia, seguindo as diretrizes das normas ABNT NBR 15575-4:2021, ABNT NBR ISO 16283-3:2021. Por meio das medições em campo do tempo de reverberação, do nível de pressão sonora e do ruído de fundo, foi possível realizar uma análise detalhada do isolamento acústico da fachada em estudo.

O elemento analisado apresenta uma fachada com janela de um quarto, na qual o procedimento de medição dos níveis de isolamento acústico foi realizado por meio do método da fonte sonora, utilizando alto-falante global e posições fixas de microfones. Para a medição do tempo de reverberação, foi empregado o método de engenharia com ruído interrompido, utilizando ruído rosa como fonte sonora.

4.3.1. Caracterização do Local de Estudo

O local em análise, está localizado na Rua Leoni de Jesus A da Mota - Bairro Vila Bela, na cidade de Guarapuava – PR. A residência tem área de 80,00 m².

A região onde a residência analisada se encontra (Figura 10), está em processo de desenvolvimento urbano, logo, apresenta circulação de automóveis.

Portanto, quando for finalizado o desenvolvimento urbano da região, o panorama acústico será composto pelo fluxo de automóveis.

Figura 10 - Localização da Residência

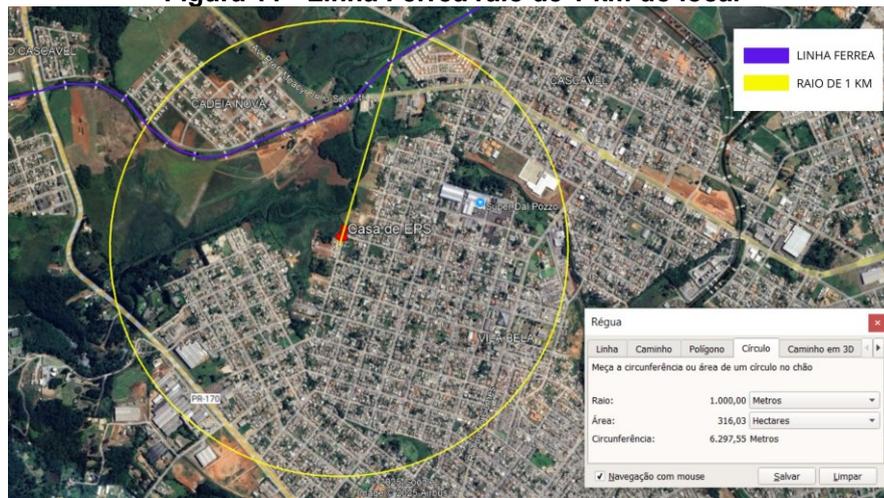


Fonte: Google Maps (2024)

A NBR 15575-4, em sua seção 7.6.2.2, estabelece um método alternativo para a determinação da classe de ruído no entorno de edificações. Contudo, a aplicação deste método é condicionada a requisitos específicos. Dentre esses requisitos, destaca-se uma condição essencial: não deve haver ferrovias no raio de 1 km dos limites do terreno em análise.

No presente estudo, foi identificada a presença de uma ferrovia localizada a menos de 1 km do local analisado, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Linha Férrea raio de 1 km do local



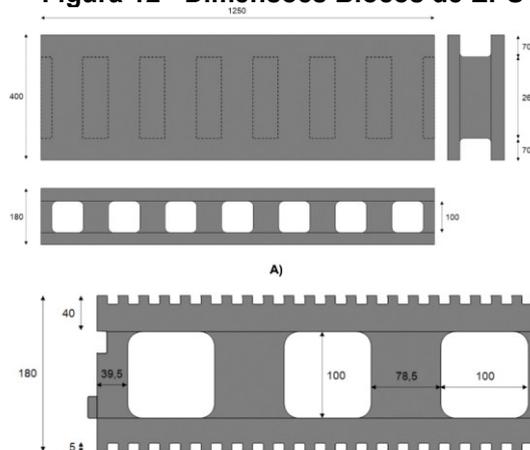
Fonte: Autoria própria (2025)

Essa condição torna necessário a utilização de abordagens mais criteriosas de avaliação, como mapeamento de ruído aéreo no entorno da edificação.

4.3.2. Caracterização da Fachada

A fachada estudada foi executada com o sistema não convencional, foi executada com EPS com preenchimento de concreto. possuem dimensões nominais de 1250 mm x 400 mm x 180 mm (comprimento x altura x largura), com sete furos verticais de 100 x 100 mm e dois rebaixos longitudinais, de 70 x 100 mm, um no topo e outro na base do bloco, de acordo com a Figura 12, e revestida com tela metálica aplicado sobre chapisco.

Figura 12 - Dimensões Blocos de EPS



Fonte: IPT (2023)

Na figura 13, observa-se o modelo da forma em EPS utilizado. É importante destacar que a imagem se refere à construção de uma casa vizinha, situada ao lado da residência onde os ensaios foram efetivamente realizados.

Figura 13 - Formas de EPS com Concreto



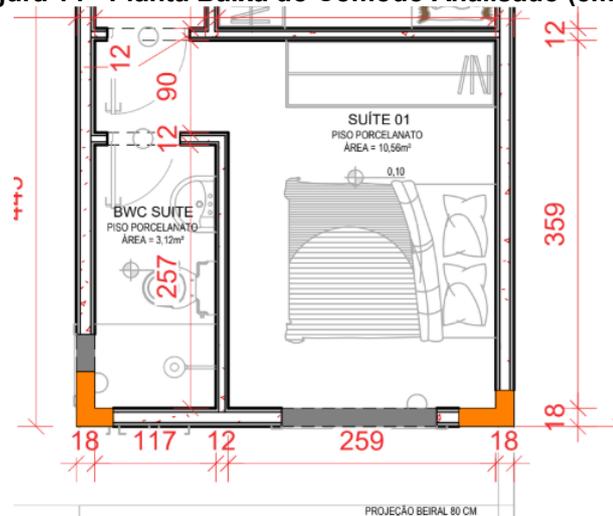
Fonte: Autoria própria (2025)

A fachada em estudo possui esquadria em alumínio, com uma folha de correr e outra fixa, com dimensões de 1,5 m x 1,70 m (largura x altura), e vidro temperado com espessura de 4 mm de marca não especificada.

4.3.3. Caracterização do Ambiente Interno

O ambiente interno analisado, é um dormitório com 10,56 m², com pé direito de 2,70 m de altura. A planta baixa do cômodo pode ser observada na Figura 14.

Figura 14 - Planta Baixa do Cômodo Analisado (em cm)



Fonte: Construtora (2025) (adaptado)

O quarto possui paredes executadas em EPS de 12,50 cm x 40 cm x 18 cm. O piso do ambiente é laminado e no dia das medições, não havia presença de mobília no cômodo.

4.3.4. Caracterização do Ensaio

Existem dois métodos utilizados para a determinação do isolamento acústico de fachadas através do método de engenharia, sendo eles: o método para os elementos e o método global. Para este estudo de caso, foi aplicado o método global, que consiste em medições realizadas diretamente no local.

As medições foram realizadas com os ambientes desocupados, sem mobílias e com as portas e janelas fechadas. Vale destacar que as medições foram realizadas apenas no período diurno, uma vez que pode ser considerado irrelevante os resultados ao realizar medições no período noturno.

4.3.4.1. Medição do Tempo de Reverberação – Procedimento Padrão

Conforme orientado pela ABNT NBR ISO 16283-3:2021 “Acústica – Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações”, foi utilizado o método do ruído interrompido, considerando o procedimento de medição do tempo de reverberação no cômodo, uma vez que o ambiente analisado possui volume superior a 25 m³.

Foram utilizadas duas posições de fonte sonora e três posições do sonômetro para cada posição de fonte, respeitando as diretrizes de posicionamento descritos na Norma. Usualmente, em razão da presença de ruído de fundo no interior do cômodo em análise, dificilmente é possível medir o decréscimo total de 60 dB no ruído teste. Portanto, é utilizado 20 dB e 30 dB de decréscimo, extrapolando os resultados para 60 dB. Deste modo, o tempo de reverberação é nomeado de T20 e T30, respectivamente (GUIDETTI; FILHO). Para a realização dos cálculos, foi considerado o método interrompido com T30. A Figura 15 mostra o posicionamento da fonte e do microfone durante a realização das medições.

Figura 15 - Posições dos Equipamentos de Medição no Cômulo Analisado



Fonte: Autoria própria (2025)

4.3.4.2. Medições de Campo do Nível de Pressão Sonoro Externo

Para realizar a medição do nível de pressão sonora externa, a fonte sonora emissora (dodecaedro) foi posicionada no nível do piso, a uma distância de 5 metros da fachada, com um ângulo de incidência sonora de aproximadamente 45° , conforme os requisitos da ABNT NBR ISO 16283-3:2021, que estabelece um ângulo de incidência de $45^\circ \pm 5^\circ$. O sonômetro foi instalado a 2 metros da fachada, a uma altura de 1,50 metros acima do piso. Foram realizadas 5 medições, cada uma com duração de 30 segundos, utilizando a configuração descrita, e considerando frequências de 50 Hz até 3150 Hz.

Figura 16 - Posicionamento dos Equipamentos

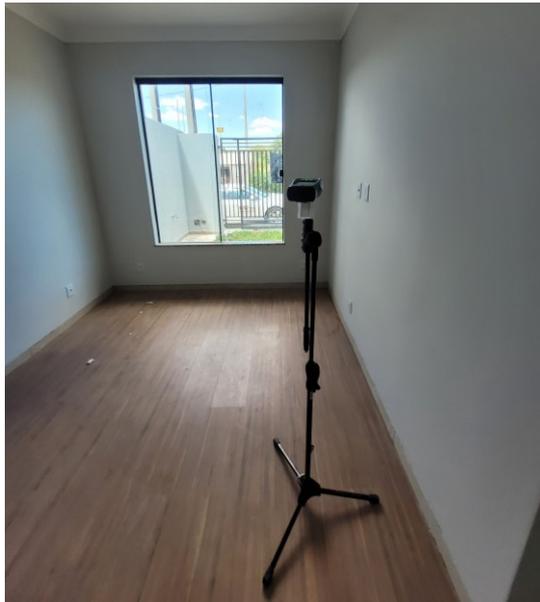


Fonte: Autoria própria (2025)

4.3.4.3. Medições de Campo do Nível de Pressão Sonoro Interno – Procedimento Padrão

Para realizar a medição do nível de pressão sonora interno, a fonte sonora foi mantida no mesmo local, porém agora com o sonômetro na parte interna do cômodo, conforme Figura 17.

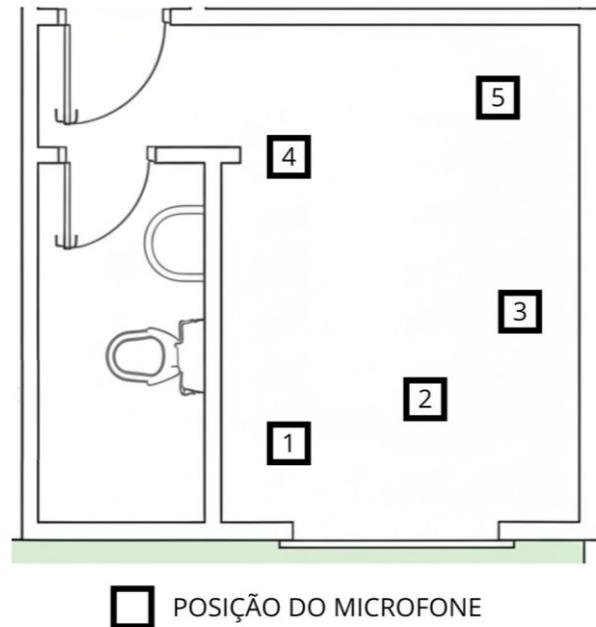
Figura 17 - Sonômetro no Interior do Cômodo Analisado



Fonte: Autoria própria (2025)

Foram efetuadas cinco medições acústicas, cada uma com duração de 30 segundos, utilizando o sonômetro em cinco posições distintas. Em conformidade com as diretrizes da ABNT NBR ISO 16283-3:2021, as posições foram distribuídas pelo ambiente em estudo, com distribuição não regular, assegurando que nenhuma das duas posições ficasse no mesmo plano dos limites da sala, conforme a Figura 18.

Figura 18 - Posições do sonômetro dentro do cômodo analisado



Fonte: Autoria própria (2025)

4.3.5. Médias Energéticas do Procedimento Padrão

Conforme o item 9 da ABNT NBR ISO 16283-3:2021, que trata de medições em ambiente externo utilizando uma fonte sonora com alto-falantes (procedimento-padrão e de baixa frequência), para as medições externas da fachada, após a coleta todos os dados do sonômetro é preciso transferir os dados para uma planilha eletrônico. Essa etapa é fundamental para o processamento e a realização dos cálculos subsequentes.

Como foram utilizados alto-falantes para a emissão de energia sonora, o nível de pressão sonora médio em ambiente externo, medido a uma distância de 2 metros em relação à fachada, foi calculado utilizando a média energética dos níveis de pressão sonora, utilizando a seguinte equação:

$$D_{ls,2m} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,i}/10} \right)$$

Onde

n é o número de posições da fonte;

$D_{1s,2m}$ é a diferença de nível para cada combinação de fonte-receptor.

Para as medições internas, em conformidade com o procedimento padrão descrito no item 7 da ABNT NBR ISO 16283-3:2021, foi necessário calcular a média energética dos níveis de pressão sonora das medições. Este cálculo foi realizado especificamente na faixa de frequência de 100 Hz a 3150 Hz, utilizando a seguinte equação:

$$L_2 = 10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,i}/10}\right)$$

Onde

$L_{p,1}, L_{p,2}, \dots, L_{p,n}$ são os níveis de pressão sonora em n diferentes posições de microfones no cômodo em análise.

O cálculo da média do tempo de reverberação também foi realizado para as medições considerando a faixa de frequência de 100 Hz a 3150 Hz. O tempo de reverberação médio foi determinado por meio da seguinte equação:

$$TR = \frac{TR_1 + TR_2 + \dots + TR_n}{n}$$

Onde

TR é a média aritmética dos tempos de reverberação, em segundos (s);

$TR_1 + TR_2 + \dots + TR_n$ são os tempos de reverberação medidos em campo, em segundos (s);

n é o número de posições do microfone;

A diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada foi calculada utilizando a seguinte equação:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log\left(\frac{T}{T_0}\right)$$

Onde

$D_{2m,nT}$ é a diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada;

$L_{1,2m}$ é a diferença de nível, em decibéis (dB);

L_2 é a medida energética dos níveis de pressão sonora, em decibéis (dB)

T é a medida do tempo de reverberação na sala de recepção, em segundos (s);

T_0 é o tempo de reverberação de referência;

Após o cálculo da média energética das diferenças padronizadas de nível a 2 metros da fachada para determinar o $D_{2m,nT,médio}$ em cada faixa de frequência analisada.

Para finalizar, os valores calculados de $D_{n,2m}$ são inseridos no código R, detalhado no Apêndice F. Esse procedimento permite a geração de um gráfico que exhibe o valor da diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada. Com isso, é possível comparar o desempenho acústico da fachada em estudo com o recomendado pela norma brasileira de desempenho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresenta os resultados e as discussões referentes a este estudo.

5.1. Resultados para nível de pressão sonora externa

Após os dados obtidos com o auxílio do sonômetro nas medições, foi calculado o nível de pressão sonora médio em ambiente externo a uma distância de 2 metros da fachada. Para o cálculo foi utilizada a média logarítmica dos valores apresentados no Apêndice A e o valores finais obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Nível de pressão Sonora médio à 2,00 m da fachada

Frequência (Hz)	$L_{1,2m}$ (dB)
100	72,8
125	78,7
160	76,6
200	67,0
250	67,4
315	67,6
400	70,6
500	69,2
630	70,2
800	66,1
1000	65,2
1250	60,2
1600	62,2
2000	64,0
2500	66,6
3150	66,3

Fonte: Autoria própria (2025)

5.2. Resultados para o nível de pressão sonora interna

Do mesmo modo, utilizando os dados obtidos com o sonômetro e calculando a média logarítmica, determinou-se o nível de pressão sonora médio no interior do cômodo. Para o procedimento padrão, os valores estão escritos no Apêndice B são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Nível de pressão sonora interna média

Frequência (Hz)	$L_{2,m}$ (dB)
100	49,6
125	59,7
160	54,6
200	47,9
250	44,6
315	48,9
400	43,9
500	42,3
630	43,1
800	39,9
1000	38,0
1250	40,0
1600	41,8
2000	46,3
2500	46,6
3150	43,6

Fonte: Autoria própria (2025)

5.3. Resultados para o tempo de reverberação

O valor médio do tempo de reverberação foi necessário utilizar a média aritmética dados apresentados no Apêndice F, os valores obtidos são mostrados pela Tabela 3.

Tabela 3 - Tempo de reverberação médio no cômodo analisado

Frequência (Hz)	T_{30} (dB)
100	2,49
125	2,65
160	2,47
200	2,64
250	2,31
315	2,01
400	1,5
500	1,01
630	1,07
800	1,21
1000	1,2
1250	0,81
1600	0,92
2000	1,19
2500	1,27
3150	1,25

Fonte: A autoria própria (2025)

5.4. Resultados para o ruído de fundo

O nível médio de ruído de fundo para o procedimento padrão foi calculado utilizando a média logarítmica dos dados obtidos nas medições de campo, conforme detalhado no Apêndice C. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Nível médio do ruído de fundo

Frequência (Hz)	R_m (dB)
100	25,3
125	32,8
160	26,7
200	23,2

250	26,2
315	26,2
400	29,0
500	29,2
630	30
800	25,5
1000	24,9
1250	23,5
1600	22,0
2000	23,6
2500	23,4
3150	23,6

Fonte: Aatoria própria (2025)

5.5. Média energética da diferença padronizada a 2 metros da fachada

Após a conclusão de todos os cálculos e a aplicação dos métodos descritos, foi possível determinar os valores da diferença de nível padronizada para frequências compreendidas entre 100 Hz e 3150 Hz. Os valores da diferença de nível padronizada estão presentes na Tabela 5.

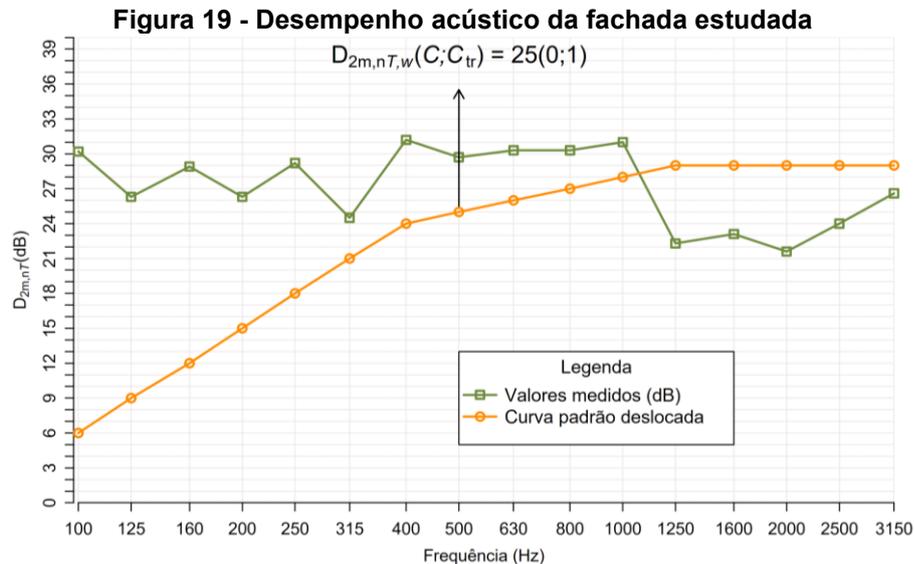
Tabela 5 - Média energética da diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada

Frequência (Hz)	$D_{2m,nT}$ (dB)
100	30,2
125	26,2
160	28,9
200	26,4
250	29,4
315	24,7
400	31,5
500	29,9
630	30,4
800	30,1

1000	30,9
1250	22,3
1600	23,1
2000	21,5
2500	24
3150	26,6

Fonte: Autoria própria (2025)

Com os valores da média energética da diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada, os dados foram inseridos como variáveis no código R, disponível o Apêndice F. Isso possibilitou a geração de um gráfico que demonstra o desempenho acústico da fachada estudada, que é demonstrado pela Figura 19.



Fonte: Autoria própria (2025)

O nível de desempenho de isolamento a ruído aéreo de vedações externas da fachada ($D_{2m,nT,w}$), foi determinado em 25 dB, com os valores de espectro de adaptação $C_{100-3150} = 0$ e $C_{tr,100-3150} = 1$.

Para contextualizar a análise dos resultados obtidos nesta pesquisa, foi realizada a comparação com dois estudos, onde utilizaram sistemas convencionais de vedação com blocos cerâmicos (BONA, 2022; MURAOKA, 2023). Ambos os estudos adotam metodologia semelhante, com medições da diferença de nível padronizada ($D_{2m,nT,w}$) em faixas de frequência entre 100 e 3150 Hz, possibilitando

uma comparação direta com os resultados desta pesquisa, que utilizou como sistema construtivo blocos de EPS preenchidos com concreto.

Tabela 6 - Comparativo do desempenho acústico

Estudo	Tipo de Vedação	$D_{2m,nT}$ (dB)	Classe NBR 15575
SAR (2025) (AUTOR)	Blocos de EPS preenchidos com concreto	25	Classe I
BONA (2022)	Bloco cerâmico 11,5 x 19,0 x 29,0 cm	29	Classe II
MURAOKA (2023)	Bloco cerâmico 11,5 x 14,0 x 24,0 cm	26	Classe II

Fonte: Autoria própria (2025)

O valor obtido nesta pesquisa atende a Classe de Ruído I segundo a NBR 15575-4:2021, cujo requisito mínimo é de 20 dB, comparando com resultados de BONA (2022), cujo valor foi de 29 dB, e de MURAOKA (2023), com 26 dB, com isso observou-se que o sistema desta pesquisa apresentou desempenho inferior.

A análise dos valores por faixa de frequência mostra que, embora o sistema com EPS tenha obtido bons índices em frequências médias e altas (400 a 1000 Hz, com picos de até 31,5 dB), houve uma queda de desempenho em frequências mais altas como 1250 Hz a 2500 Hz, chegando a valores abaixo de 25 dB.

5.6. Sugestões de melhorias

Após a análise dos dados e dos resultados obtidos, verifica-se a possibilidade de promover ajustes construtivos com o objetivo de otimizar o desempenho acústico da fachada, que atualmente atende aos critérios da Classe de Ruído I.

Primeiro aspecto considerado é a substituição das esquadrias de alumínio por esquadrias em PVC, material apresenta uma maior capacidade de vedação, contribuindo de forma mais eficaz para a isolamento sonoro.

Outro fator relevante diz respeito ao tipo de vidro temperado utilizado. Na composição original adotou-se vidros de espessura de 4 mm, realizando a substituição para vidro de 6 mm, o que pode resultar em melhor desempenho no isolamento.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho consistiu em avaliar o desempenho acústico de uma fachada residencial construída com blocos de EPS preenchidos com concreto, avaliando com bases das normas das diretrizes da ABNT NBR 15575:2021, que diz respeito a requisitos mínimos de uma edificação, abordando a classe de ruído mínimo.

Após a análise dos dados obtidos, verificou-se que a fachada apresentou uma diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros ($D_{2m,nT,w}$) igual a 25 dB, sendo classificada em uma classe de ruído I, em que o valor mínimo exigido pela norma é de 20 dB.

Comparando o método estudado com o método construtivo convencional (blocos cerâmicos), foi observado que a utilização de EPS preenchidos com concreto, tiveram um desempenho acústico inferior, no qual os blocos cerâmicos foram classificados na classe de ruído II.

Apesar da fachada atender os requisitos mínimos exigidos pela norma e se enquadrar na classe de ruído I, é recomendado algumas alterações para a melhoria do desempenho acústico da fachada, como a substituição das esquadrias de correr em alumínio por modelos em PVC e a troca do vidro temperado de 4 mm por um vidro com uma espessura maior, como a de 6 mm.

Com isso, para dar continuidade a pesquisa é proposto, como principal desenvolvimento, a elaboração de um mapa de ruído da região analisada, contemplando diferentes projeções de volume de tráfego, com o objetivo de caracterizar o nível de ruído incidente sobre as fachadas. Essa análise detalhada é crucial para assegurar a eficácia dos resultados obtidos, garantindo se o nível de isolamento acústico está em conformidade com a classe de ruído do empreendimento.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.** 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, 2018.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).** 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.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.** NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.** NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.** NBR 15575-3: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2021.
- CROCKER, Malcolm J.; ARENAS, Jorge P. **Engineering acoustics: noise and vibration control.** John Wiley & Sons, 2021.
- IPT. Sistema de vedação vertical composto de blocos de EPS preenchidos com concreto e revestimento de argamassa.** Disponível em: <https://pbqp-h.mdr.gov.br/wp-content/uploads/2023/04/DATEC-045_IFORMS_04-04-23_Apos-reuniao-SINAT.pdf>. Acesso em: 07 de jun. 2025.
- GUEDES, Italo C. M.; BERTOLI, Stelamaris R.; ZANNIN, Paulo HT. **Influence of urban shapes on environmental noise: a case study in Aracaju—Brazil.** Science of the Total Environment, v. 412, p. 66-76, 2011.
- KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS A. B.; SANDERS J. V. **Fundamentals of Acoustics.** 4ª ed., USA, 2000.
- PAULA, Dionatan José de. **Avaliação do isolamento acústico de um edifício residencial de alto padrão: estudo de caso.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- MURAOKA, Sarah T. M. **Avaliação do desempenho acústico da fachada de uma habitação dos programas casa fácil Paraná e casa verde e amarela.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- BONA, Rafael L. M. **Avaliação do desempenho acústico da fachada de um empreendimento do programa casa verde e amarela: estudo de caso.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- REZENDE, Jardel M. S.; FILHO, Júlio C. G. M.; NASCIMENTO, Néio L. F. **Isolamento sonoro contra ruído aéreo de vedações verticais internas medido**

em campo. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal de Goiás. Goiânia.

FELLOWS, Richard F; LIU, Anita MM. **Research methods for construction**. Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons, 2015.

AMARAL, B. F. **CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS E OS EVERGLADES**. Revista Foco, 2024.

ANTUNES, David. A.L.; JUNIOR, Júlio C. C. **Análise comparativa dos sistemas construtivos em alvenaria convencional e insulating concrete forms (icf)**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça.

DE JESUS, A. T. C.; BARRETO, M. F. F. Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Convencional, Alvenaria Estrutural e Moldes Isolantes para Concreto (Icf). **Engineering and Science**, 2018.

KNAUF. **História do Isopor**. Disponível em <https://www.mundoisopor.com.br/conheca-a-historia-do-isopor/>. Acesso em: 30 jul. 2025.

BRASILEIRO, T. C. et al. Mapas de ruído: histórico e levantamento da atual produção brasileira. **Acústica e Vibrações**, 2019.

ALMEIDA, Sâmira M. B. et al. Poluição sonora e o mapeamento do ruído urbano: revisão da literatura. **Brazilian Journal of Development**, 2020.

THOMAZ, E. et al. **Código de Práticas Nº 01: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT, 2009.

FRASSON, Karine C.; BITENCOURT, Marcos. **Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e light steel frame: um estudo de caso em residência unifamiliar**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade do Sul de Santa Catarina.

SANTOS, L. C.; VALADO, F. **O mapa de ruído municipal como ferramenta de planejamento**. In: ACUSTICA, 2004.

SILVA, Fernando H. **Demonstração Do Sistema Construtivo Em Painéis Monolíticos De Eps**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário de Maringá.

OLIVEIRA, Maria Fernanda; HEISSLER, Rafael. Análise comparativa do isolamento acústico em diferentes geometrias: ensaios em campo e simulações computacionais. **Ambiente Construído**, 2020.

ANEXO A – Certificados de calibração dos materiais utilizados

INTERMETRO

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO (Calibration Certificate)



Nº 4613/24R

Laboratório de Calibração acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº 0450
(Calibration Laboratory accredited by CGCRE in accordance with ABNT NBR ISO/IEC 17025, under No. 0450)

OS 73329

Cliente : UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
(Client)
Endereço: AV LAURA PACHECO BASTOS,800 - GUARAPUAVA/PR
(Address):

Data da Calibração: 20/06/2024
(Calibration date)

Solicitante: UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
(Requester):
Endereço: AV LAURA PACHECO BASTOS,800 - GUARAPUAVA/PR
(Address):

Data de Emissão: 20/06/2024
(Issue date)

Equipamento Calibrado (Calibrated Equipment)

Item Calibrado CALIBRADOR DE NIVEL SONORO
(Calibrated Item)

Tipo: 1
(Type)

Acessórios Conjugados: Não Possui
(Conjugated Accessories)

Nº de Série: 4231
(Serial N°)

Marca: BRUEL & KJAER
(Brand)

Nº de Identificação: 628335
(ID N°)

Modelo 4231
(Model)

Nº de Patrimônio: NÃO CONSTA (N/A)
(Patrimony N°)

Condições Ambientais Aplicáveis à Calibração (Environmental Conditions)

Local da Calibração: Laboratório de Calibração
(Calibration Location)

Pressão barométrica: 931,2 mbar
(Barometric pressure)

Temperatura durante a calibração: (23,0+/-3,0) °C
(Temperature during calibration)

%ur durante a calibração: máx.75%ur (40 ± 20)%ur
(Relative Humidity)

Metodologia de Calibração (Calibration Methodology)

Os resultados a seguir apresentados referem-se à média de 3 medições. A calibração foi realizada através do método da comparação sequencial conforme Norma IEC 60942:2003 procedimento interno PCA-13
(The results presented below refer to the average of 3 measurements. Calibration was carried out using the sequential comparison method according to IEC Standard 942:1988 internal procedure PCA-13)

Padrões Utilizados (Standards Used)

Código (Code)	Padrão de Trabalho: (Working Standard)	Certificado de Calibração (Certificate N°)	Validade do Padrão (Expiration Date)
060	Pré-amplificador padrão B&K 2669	RBC2-12183-699 - TOTAL SAFETY - RBC	mai/25
365	Multímetro de Precisão Digital 6-1/2	E1549-2023 - LABELO - RBC	out/24
303-5	Termohigrometro Canal 5	3205-24R - INTERMETRO - RBC	abr/25
168	Amplificador de Medição	RBC2-12184-484 - TOTAL SAFETY - RBC	mai/25
177	Barômetro digital	CAL-226620-23 - ABSI - RBC	jul/25
279	Pistonfone BK 4228	RBC2-12238-599 - TOTAL SAFETY - RBC	jul/25
280	Microfone B&K 4192	RBC2-12239-441 - TOTAL SAFETY - RBC	jul/25



INTERMETRO

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO (Calibration Certificate)



Nº 4564/24R

Laboratório de Calibração acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o N° 0450
(Calibration Laboratory accredited by CGCRE in accordance with ABNT NBR ISO/IEC 17025, under No. 0450)

OS 73328

Cliente : UNIVERSIDADE TECNOLOGICA FEDERAL DO PARANA
(Client)
Endereço: AV LAURA PACHECO BASTOS,800 - GUARAPUAVA/PR
(Address)

Data da Calibração: 26/06/2024
(Calibration date)

Solicitante: UNIVERSIDADE TECNOLOGICA FEDERAL DO PARANA
(Requester)
Endereço: AV LAURA PACHECO BASTOS,800 - GUARAPUAVA/PR
(Address)

Data de Emissão: 27/06/2024
(Issue date)

Equipamento Calibrado (Calibrated Equipment)

Item Calibrado : (Calibrated Item)	MEDIDOR DE NIVEL SONORO	Classe 1 (Class)
Acessórios Conjugados : (Conjugated Accessories)	Não Possui	Nº de Série : 3029050 (Serial N°)
Marca: (Brand)	BRUEL & KJAER	Software: 4.7.7
Modelo: (Model)	2250	Nº de Identificação: 628335 (ID N°)
	Canal: 1 (Channel)	Nº de Patrimônio : NÃO CONSTA (N/A) (Patrimony N°)

Microfone (Microphone)

Marca: (Brand)	Brüel & Kjaer	Modelo: (Model)	4189	Nº de Série: (Serial N°)	3260608
-------------------	---------------	--------------------	------	-----------------------------	---------

Pré amplificador (Preamplifier)

Marca: (Brand)	Brüel & Kjaer	Modelo: (Model)	ZC 0032	Nº de Série: (Serial N°)	30139
-------------------	---------------	--------------------	---------	-----------------------------	-------

Condições Ambientais (Environmental Conditions)

Local da Calibração: Laboratório de Calibração
(Calibration Location)

Temperatura inicial (Inicial temperature):	23,0 °C	%Ur Inicial	53	Pressão atm. Inicial (Pressure)	932,5 mBar
Temperatura Final (Final temperature):	23,1 °C	%Ur Final	53	Pressão atm. Final (Pressure)	932,5 mBar

Metodologia de Calibração (Calibration Methodology)

O PCA-014 foi desenvolvido para a realização calibração de medidores de nível sonoro sendo confeccionado como norma orientativa a IEC 61672-1:2013; sendo realizado os testes periódicos de acordo com a IEC 61672-3:2013
(The PCA-014 was developed to calibrate sound level meters and was created as a guideline for IEC 61672-1:2013; periodic tests are carried out in accordance with IEC 61672-3:2013)

Manual e certificados (Manual and certificates)

Evidência de aprovação de modelo (Evidence of model approval): ---
Site do manual do equipamento (Equipment manual website): <https://www.bksv.com/downloads/2250/be1853.pdf>
Visualizado em (Viewed in): 23/08/2023

Padrões Utilizados (Standards Used)

Código (Code)	Padrão de Trabalho: (Working Standard)	Certificado de Calibração (Certificate N°)	Validade do Padrão (Expiration Date)
173	Gerador de Sinais Arbitrários + Atenuador de passo	DIMCI 0290-2024 - INMETRO-RBC	mar-26
60	Pré-amplificador padrão B&K 2669	RBC2-12183-699 - TOTAL SAFETY - RBC	mai-25
303-5	Termohigrometro Canal 5	3205-24R - INTERMETRO - RBC	abr-25
168	Amplificador de Medição	RBC2-12184-484 - TOTAL SAFETY - RBC	mai-25
196	Fonte para Atuador Eletrostático	DIMCI 00644-2024 DIMCI 0645-2024 - INMETRO RBC	jun-26
197	Atuador eletrostático 1/2"	DIMCI 0644-2024 - INMETRO RBC	jun-26
32	Calibrador de Nivel Sonoro	0866-23R - INTERMETRO - RBC	fev-25



INTERMETRO

Telefone (11) 5071-2764 - www.intermetro.com.br
Rua Joaquim de Almeida, 223 - 04050-010 São Paulo-SP Brasil

Rev. F
Página (page) 1 / 5

INTERMETRO

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO (Calibration Certificate)

N° 4837/24R



Laboratório de Calibração acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o N° 0450
(Calibration Laboratory accredited by CGCRE in accordance with ABNT NBR ISO/IEC 17025, under No. 0450)

OS 73330

Cliente : UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
(Client)
Endereço: AV LAURA PACHECO BASTOS,800 - GUARAPUAVA/PR
(Address):

Data da Calibração: 25/06/2024
(Calibration date)

Solicitante: UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
(Requester):
Endereço: AV LAURA PACHECO BASTOS,800 - GUARAPUAVA/PR
(Address):

Data de Emissão: 26/06/2024
(Issue date)

Equipamento Calibrado (Calibrated Equipment)

Item Calibrado : MICROFONE
(Calibrated Item)

Acessórios Conjugados : Não possui.
(Conjugated Accessories)

N° de Série : 3260608
(Serial N°)

Marca: BRUEL & KJAER
(Brand)

Polarização (V): 0
Polarization (V)

N° de Identificação: NÃO CONSTA (N/A)
(ID N°)

Modelo: 4189
(Model)

Tipo: FF
(Type)

N° de Patrimônio : NÃO CONSTA (N/A)
(Patrimony N°)

Condições Ambientais Aplicáveis à Calibração (Environmental Conditions)

Local da Calibração: Laboratório de Calibração (Calibration Laboratory)
(Calibration Location)

Pressão barométrica: 931,6 mbar
(Barometric pressure)

Temperatura durante a calibração: 22,4 °C
(Temperature during calibration)

%ur durante a calibração: 72 %
(Relative Humidity)

Metodologia de Calibração (Calibration Methodology)

Os resultados a seguir apresentados referem-se à média de 3 medições. A calibração foi realizada conforme Norma IEC 61094-6:2004, procedimento interno PCA-015.
(The results presented below refer to the average of 3 measurements. Calibration was performed according to Standard IEC 61094-6:2004, internal procedure PCA-015.)

Padrões Utilizados (Standards Used)

Código (Code)	Padrão de Trabalho: (Working Standard)	Certificado de Calibração (Certificate N°)	Validade do Padrão (Expiration Date)
060	Pré-amplificador padrão B&K 2669	RBC2-12183-699 - TOTAL SAFETY - RBC	mai/25
123	Multímetro Digital	E1877-2023 - LABELO - RBC	nov/25
303-5	Termohigrometro Canal 5	3205-24R - INTERMETRO - RBC	abr/25
168	Amplificador de Medição	RBC2-12184-484 - TOTAL SAFETY - RBC	mai/25
173	Gerador de Sinais Arbitrários + Atenuador de passo	DIMCI 0290-2024 - INMETRO-RBC	mar/26
197	Atuador eletrostático 1/2"	DIMCI 0644-2024 - INMETRO RBC	jun/26
177	Barômetro digital	CAL-226620-23 - ABSI - RBC	jul/25
280	Microfone B&K 4192	RBC2-12239-441 - TOTAL SAFETY - RBC	jul/25



APÊNDICE A - Dados dos níveis de pressão sonora externa

Na Tabela 7 apresenta os valores dos níveis de pressão sonora externo a 2,00 m da fachada ($L_{1,2m}$) obtidos através do sonômetro em cada uma das cinco medições para cada faixa de frequência.

Tabela 7 - Dados do nível de pressão sonora na parte externa a 2 metros da fachada

Frequência (Hz)	Medição (dB)				
	$L_{1,2m,1}$	$L_{1,2m,2}$	$L_{1,2m,3}$	$L_{1,2m,4}$	$L_{1,2m,5}$
100	72,94	72,75	72,79	72,84	72,55
125	78,48	78,82	78,78	78,63	78,55
160	76,55	76,71	76,44	76,53	76,64
200	67,29	66,92	66,92	67,1	66,92
250	67,87	67,22	67,46	67,42	66,95
315	67,58	68,37	67,31	67,15	67,67
400	70,64	70,61	70,82	70,52	70,38
500	68,87	69,69	68,9	69,01	69,39
630	70,00	70,72	69,77	70,01	70,27
800	66,14	66,63	66,19	65,80	65,74
1000	65,08	64,82	65,26	65,27	65,38
1250	60,19	59,87	60,15	60,35	60,61
1600	61,90	61,80	62,30	62,42	62,38
2000	63,93	63,67	64,09	64,29	63,91
2500	66,60	66,83	66,67	66,54	66,20
3150	66,06	65,83	66,38	66,61	66,49

Fonte: Autoria própria (2025)

APÊNDICE B – Dados do nível de pressão sonora interna

A Tabela 8 apresenta os dados de medição dos valores do nível de pressão sonora interna (L_2) através do procedimento padrão obtidos por meio do sonômetro em cada uma das cinco medições para cada faixa de frequência.

Tabela 8 - Dados do nível de pressão sonora do ambiente interno

Frequência (Hz)	Medição (dB)				
	$L_{2,1}$	$L_{2,2}$	$L_{2,3}$	$L_{2,4}$	$L_{2,5}$
100	44,47	49,54	52,27	47,73	50,17
125	59,10	57,92	61,51	59,32	59,75
160	53,81	54,76	53,13	55,41	55,28
200	48,66	48,90	48,53	47,11	44,97
250	44,71	44,12	43,01	45,18	45,74
315	50,78	48,56	48,45	48,94	47,16
400	44,98	44,37	42,52	43,36	43,86
500	42,10	41,87	43,87	41,10	41,90
630	43,75	44,14	41,84	42,64	42,84
800	39,47	39,55	39,98	39,99	40,23
1000	39,01	38,08	37,40	37,40	37,96
1250	40,04	40,24	40,15	40,20	39,38
1600	40,43	42,35	41,93	41,84	42,00
2000	45,38	46,53	46,16	46,29	46,88
2500	47,13	46,54	46,53	46,53	46,44
3150	44,25	43,83	42,92	43,39	43,59

Fonte: Autoria própria (2025)

APÊNDICE C – Dados do ruído de fundo

A Tabela 9 apresenta os dados de medições dos valores do ruído de fundo do ambiente (R) através do procedimento padrão.

Tabela 9 - Dados do ruído de fundo do ambiente

Frequência (Hz)	Medição (dB)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
100	26,85	24,88	26,93	23,24	22,56
125	29,16	28,85	29,11	26,58	38,30
160	25,97	27,88	25,69	24,60	28,40
200	19,60	24,67	25,02	22,35	22,57
250	16,92	29,28	26,80	26,04	24,85
315	16,15	27,35	28,52	26,79	25,06
400	14,31	29,53	31,22	30,67	27,16
500	11,44	29,61	31,70	27,71	30,55
630	10,89	26,72	30,01	23,95	35,18
800	10,15	25,59	26,87	21,13	28,95
1000	9,88	22,34	26,51	19,64	29,10
1250	10,23	19,85	23,67	18,97	28,52
1600	10,24	18,45	22,90	19,59	26,29
2000	10,70	19,63	25,38	22,15	27,27
2500	8,02	21,16	27,13	21,77	24,64
3150	8,37	23,68	26,91	19,42	25,06

Fonte: Autoria própria (2025)

APÊNDICE D – Dados do tempo de reverberação T_{30}

As Tabela 10 e 11 apresentam os dados de medição dos valores do tempo de reverberação através dos procedimentos padrão e de baixa frequência obtidos através do sonômetro. As medições foram realizadas com duas posições de fonte Sonora e três posições do sonômetro para cada posição de fonte, totalizando seis medições.

Tabela 10 - Dados de medição do tempo de reverberação com a posição de fonte 1

Frequência (Hz)	Medição (dB)		
	F1M1	F1M2	F1M3
100	2,56	2,54	2,48
125	2,61	2,64	2,58
160	2,67	3,03	2,39
200	3,36	2,79	2,38
250	2,31	2,42	2,36
315	2,09	2,36	1,96
400	1,51	1,47	1,27
500	1,11	0,87	0,95
630	1,12	1,07	1,06
800	1,21	1,24	1,17
1000	1,22	1,16	1,22
1250	0,81	0,81	0,79
1600	0,95	0,88	0,92
2000	1,22	1,17	1,24
2500	1,31	1,21	1,33
3150	1,24	1,23	1,26

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 11 - Dados de medição do tempo de reverberação com a posição de fonte 2

Frequência (Hz)	Medição (dB)		
	F2M1	F2M2	F2M3
100	2,39	2,45	2,51
125	2,65	2,71	2,71
160	2,5	2,12	2,11
200	2,42	2,64	2,27
250	2,22	2,32	2,24
315	1,64	2,07	1,92
400	1,59	1,59	1,59
500	0,99	1,02	1,09
630	1,02	1,07	1,07
800	1,28	1,16	1,22
1000	1,20	1,17	1,21
1250	0,86	0,79	0,80
1600	0,91	0,97	0,91
2000	1,13	1,17	1,21
2500	1,25	1,25	1,28
3150	1,24	1,26	1,26

Fonte: Autoria própria (2025)

APÊNDICE F – Código R utilizado para gerar o gráfico

```
library(calibrate)
```

```
library(Cairo)
```

```
# NOVOS DADOS: Valores de D2M,nT (T30)
```

```
A<-c(30.2, 26.2, 28.9, 26.4, 29.4, 24.7, 31.5, 29.9, 30.4, 30.1, 30.9, 22.3, 23.1, 21.5, 24.0, 26.6)
```

```
B<-c(33,36,39,42,45,48,51,52,53,54,55,56,56,56,56,56) #curva padrão da iso 717-1
```

```
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)
```

```
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 padrão deslocada
```

```
  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
```

```
# O limite Y superior continua em 40 para garantir espaço para o texto entre 35 e 38
```

```
limy=40
```

```
cores<-c("darkolivegreen4","darkorange","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)
```

```
#CORREÇÃO 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] # SP6 AINDA USA O B3[8] CALCULADO
```

```
#CORREÇÃO DO ESPECTRO DE TRÁFEGO
```

```
SP7=CTRAF-A
```

```
SP8=10^((SP7/10))
```

```
SP9=sum(SP8)
```

```
SP10=-10*log10(SP9)
```

```
SP11=(round(SP10,digits=0))
```

```
SP12=SP11-B3[8] # SP12 AINDA USA O B3[8] CALCULADO
```

```
# NOVO: Valor que será exibido no texto para D2m,nT,w
display_D2m_value <- 30
```

```
---
```

```
## Geração da Imagem
```

```
``R Cairo::
```

```
Cairo(
  30, #length
  20, #width
  file = paste("quarto1t30", ".png", sep = ""), # Nome do arquivo
  type = "png",
  bg = "white",
  dpi = 300,
  units = "cm"
)
```

```
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(0, limy, by = 1), col = "snow2", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
title(ylab=expression('D'['2m,n']['T']*(dB)'), line=0.5, cex.lab=neixo)
title(xlab='Frequência (Hz)', line=1.5, cex.lab=neixo)
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)
```

```
# Posição do texto D2m,nT (T30) entre 35 e 38
```

```
# AQUI: Usamos 'display_D2m_value' para o número D2m,nT,w
textxy(log10(C[8]), 36.5, bquote('D'['2m,n']['T']*('C';C'[plain('tr')]*plain('
=')~.(display_D2m_value)*('*(.SP6)*;*(.SP12)*'))),cex=1.7,pos=3)
```

```
# Seta para apontar para a escrita
```

```
arrows(x0=D[8], y0=B3[8]+0.5, x1=log10(C[8]), y1=35.5, angle=30, col="black",
lwd=ntext, length=.12)
```

```
legend(x=c(log10(500),log10(1600)),y=c(5, 13),legend=c("Valores medidos
(dB)", "Curva padrão 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))
```

```
dev.off()
```