

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL LUCIANO MAIA BONA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DA FACHADA DE UM
EMPREENDIMENTO DO PROGRAMA CASA VERDE E AMARELA: ESTUDO DE
CASO**

GUARAPUAVA

2022

RAFAEL LUCIANO MAIA BONA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DA FACHADA DE UM
EMPREENHIMENTO DO PROGRAMA CASA VERDE E AMARELA: ESTUDO DE
CASO**

**Evaluating the acoustic performance of a building façade from the Casa Verde
e Amarelo Program: Case study.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de
Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro

GUARAPUAVA

2022



[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.

RAFAEL LUCIANO MAIA BONA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DA FACHADA DE UM
EMPREENHIMENTO DO PROGRAMA CASA VERDE E AMARELA: ESTUDO DE
CASO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de
Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro

Data de aprovação: 05/dezembro/2022

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

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

Hinaylen Both
Especialista em Docência no Ensino Superior pelo Centro Universitário Campo Real
Centro Universitário Campo Real

GUARAPUAVA

2022

Dedico este trabalho à minha esposa, meu filho,
meus pais, minha irmã e aos meus amigos pelo
apoio nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro, por toda a confiança, apoio, orientação e por sua prontidão em todos os momentos. Seu caráter e sua sensibilidade são exemplos raros em uma relação acadêmica.

A toda equipe da Prestes Construtora, em especial ao meu amigo Breendown Matheus Ferreira, por todo o auxílio prestado durante as medições e durante a elaboração deste trabalho. Também aos meus amigos Moisés, Matheus e Isidoro que, de alguma forma ajudaram neste trabalho.

A toda a minha família pelo apoio irrestrito e muito fortificante para que esse trabalho fosse concluído. Em especial à minha esposa e, de modo particular, ao meu filho Bernardo, pela compreensão das ausências.

Ao Autor dos autores.

RESUMO

O conforto acústico é um fator primordial na escolha de uma moradia, pois implica significativamente na qualidade de vida do ser humano. É extremamente desconfortante estar em um ambiente onde existam sons indesejáveis, neste sentido, o isolamento sonoro tem se tornado requisito essencial nas edificações. Este trabalho apresenta um estudo de caso do desempenho acústico de uma fachada localizada em um empreendimento imobiliário que faz parte do Programa Casa Verde e Amarela e busca contribuir para a discussão a respeito de conforto acústico. Este tema é muito relevante nas habitações atualmente, devido às grandes expansões urbanas e ao processo de verticalização das edificações, que aproximou as unidades habitacionais, deixando mais evidente os ruídos produzidos pelos vizinhos. Para que isso fosse possível, foram realizadas medições em campo, com o intuito de obter os valores necessários para calcular do isolamento sonoro sistema de vedação vertical externo. As medições foram guiadas pela NBR ISO 16823-3:2021, bem como os cálculos utilizaram normas vigentes na literatura brasileira. Com auxílio dos equipamentos de medição foi possível coletar os dados e posteriormente analisá-los com *softwares* apropriados. Verificou-se assim, que o elemento analisado neste estudo atendeu às exigências mínimas de desempenho da norma NBR 15575-4:2021 para a classe de ruído II. Por fim, concluiu-se que para aumentar a qualidade desta pesquisa, é proposta a elaboração de um mapa de ruído da região, projetando o volume de tráfego.

Palavras-chave: desempenho acústico; pressão sonora; isolamento sonoro; fachada.

ABSTRACT

Acoustic comfort is a key factor when looking for a home, as it significantly affects the quality of life of human beings. It is extremely uncomfortable to be in an environment where there are undesirable sounds, in this sense, sound insulation has become an essential requirement in buildings. This paper introduces a façade acoustic performance case study of a building that is inserted on Casa Verde e Amarela Program and seeks to contribute to the discussion about acoustic comfort. Actually, a very important theme when it comes to dwelling, due to large urban expansions and the buildings verticalization process, approach significantly housing units, making more evident the noise produced by neighbors. To make this possible, measurements were carried out in the field, in order to obtain the necessary parameters to calculate the sound insulation of the external vertical sealing system. The measurements were guided by NBR ISO 16823-3:2021, as well as the calculations used standards in the current Brazilian literature. With the help of measuring equipment, that made possible to collect data and subsequently analyze them with appropriate software. It was thus verified that the element analyzed in this study met the minimum performance requirements of the NBR 15575-4:2021 standard for the 2nd noise class. Finally, it was concluded that to increase the quality of this research, it is proposed the elaboration of a noise map of the region, projecting the volume of traffic.

Keywords: acoustical performance; sound pressure level; sound insulation; façade.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fontes de ruído aéreo.....	16
Figura 2 - Fontes de ruído de impacto.	17
Figura 3 – Fonte sonora.....	24
Figura 4 – Microfone.	25
Figura 5 – Sonômetro com microfone utilizado nas medições.....	25
Figura 6 – Calibrador de nível sonoro.	26
Figura 7 – Microfone para medições de ruído de fundo.	26
Figura 8 – Condicionador de sinais.....	27
Figura 9 – Planta de implantação do elemento analisado.	28
Figura 10 – Planta baixa do cômodo analisado com cotas (cm).....	29
Figura 11 - Posição da fonte sonora em relação ao elemento analisado.....	30
Figura 12 – Medições do nível de pressão sonora externo.....	31
Figura 13 – Posição do sonômetro.....	32
Gráfico 1 - Incerteza de medição.	33
Figura 14 – Conexão dos equipamentos no método da resposta impulsiva integrada.....	34
Gráfico 2 – Desempenho acústico da fachada.	41
Figura 15 - Precipitação acumulada (mm) e pressão atmosférica (hPa).....	52
Figura 16 - Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%).	52
Figura 17 - Velocidade e rajada do vento (km/h).	53
Figura 18 - Condições climáticas do dia 02/10/2022.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de desempenho, $D_{nT,w}$, de isolamento a ruído aéreo do sistema vedações verticais internas (SVVI). (continua).....	20
Tabela 2 – Critério de isolamento de ruído aéreo de vedações externas para dormitórios.	21
Tabela 3 – Nível de pressão sonora médio à 2,00 m da fachada.	37
Tabela 4 – Nível de pressão sonora no interior do quarto.....	38
Tabela 5 – Tempo de reverberação (s) com a incerteza (s). (continua).....	38
Tabela 6 – Ruído de fundo.....	39
Tabela 7 – Diferença de nível padronizada.	40
Tabela 8 – Níveis de pressão sonora a 2,00 m da fachada obtidos no sonômetro.....	55
Tabela 9 – Níveis de pressão sonora obtidos pelo sonômetro no interior do dormitório.	57
Tabela 10 – Dados de ruído de fundo obtidos pelo sonômetro.	59
Tabela 11 – Dados do tempo de reverberação obtidos no sonômetro.....	61
Tabela 12 – Dados para cálculo da incerteza do tempo de reverberação (s).....	63

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	20
Equação 2	20
Equação 3	33
Equação 4	34
Equação 5	34
Equação 6	35
Equação 7	35
Equação 8	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Conforto ambiental	15
3.2	Som e ruído	15
3.2.1	Ruído aéreo.....	16
3.2.2	Ruído de impacto	16
3.2.3	Nível de pressão sonora.....	17
3.2.4	Ruído rosa	18
3.2.5	Ruído de fundo	18
3.2.6	Tempo de reverberação	18
3.3	Conforto acústico	18
3.4	Isolamento acústico	19
3.5	Mapeamento acústico	19
3.6	Diferença de nível	20
3.6.1	Diferença de nível padronizada ponderada.....	20
3.6.2	Diferença de Nível Padronizada e Ponderada à 2,00 m da fachada	21
3.7	Espectros de adaptação C e C_{tr}	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1	Materiais	24
4.1.1	Equipamentos utilizados.....	24
4.1.2	Caracterização do local de estudo	27
4.1.3	Caracterização do sistema construtivo.....	28
4.2	Métodos	29
4.2.1	Medição do nível de pressão sonora externa	30
4.2.2	Medição do nível de pressão sonora interna	32
4.2.3	Medição do tempo de reverberação	32
4.2.4	Medição do ruído de fundo.....	35
4.2.5	Cálculo da diferença de nível padronizada.....	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1	Resultados para o nível de pressão sonora externa	37

5.2	Resultados para o nível de pressão sonora interna.....	37
5.3	Resultados para o tempo de reverberação	38
5.4	Resultados para o ruído de fundo	39
6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	ANEXO A - Certificados De Calibração Dos Materiais Utilizados	46
	ANEXO B – Condições climáticas do dia da realização das medições	51
	APÊNDICE A – Dados do nível de pressão sonora a 2,00 m da fachada	54
	APÊNDICE B – Dados do nível de pressão sonora no interior do quarto	56
	APÊNDICE C – Dados do ruído de fundo	58
	APÊNDICE D – Dados do tempo de reverberação T_{30}	60
	APÊNDICE E – Dados para o gráfico de incertezas	62
	APÊNDICE F – Código R utilizado para gerar o gráfico	64

1 INTRODUÇÃO

A poluição sonora é caracterizada pela existência de ruídos indesejáveis podendo sujeitar o aparelho auditivo a danos irreversíveis, prejudicando a saúde humana (NASCIMENTO *et al.*, 2018). É um dos assuntos mais comuns no que diz respeito aos problemas ambientais atuais (FARIA; MELLO, 2008). Isso ocorre devido ao excesso de veículos e também à verticalização urbana, que busca aproveitar melhor o espaço no solo gerando mais unidades habitacionais, processo que ocorre em virtude do grande crescimento populacional (OLIVEIRA, 2012).

Vale salientar que o ruído ambiental pode acarretar uma carga substancial de doenças, representando um dos principais riscos para a saúde física e mental (WHO, 2018). De acordo com estudos realizados pela Organização Mundial da Saúde (2018), a exposição a ruídos excessivos pode promover doenças cardiovasculares, distúrbios do sono, perda auditiva, além de aborrecimentos e estresses psicológicos.

O conforto é algo imensurável pois se trata de um conceito que varia de acordo com as preferências pessoais do indivíduo, entretanto, esse conceito pode ser traduzido em desempenho, podendo assim ser analisado (PARMEGGIANI, 2014). Apesar de ser caracterizado como um conceito de aspecto subjetivo, o conforto ambiental tem sido cada vez mais exigido nas edificações, principalmente por moradores de habitações multifamiliares. Por isso, cada vez mais se busca definir parâmetros objetivos para que se torne possível determinar o grau de conforto sonoro de uma edificação (FERREIRA NETO; BERTOLI, 2008).

Ainda segundo Ferreira Neto e Bertoli (2008) é difícil encontrar quem se preocupe com qualidade de isolamento acústico de um edifício desde a fase de projeto. Geralmente esse fator passa a ser perceptível e preponderante quando a edificação já está pronta e habitada, dificultando a tomada de ações necessárias para melhorar as condições de bem-estar.

Entretanto, segundo Gonçalves e Carvalho (2018) a preocupação com conforto acústico tem crescido nos últimos anos, principalmente a partir do surgimento da norma Edificações habitacionais — Desempenho, ABNT NBR 15575:2013, atualizada em 2021, que define parâmetros técnicos e de mensuração para quesitos como acústica, durabilidade, manutenção e transmitância térmica.

Assim, atualmente no Brasil exige-se que as edificações satisfaçam os requisitos presentes na norma ABNT NBR 15575:2021, com o intuito de diminuir os

impactos que a poluição sonora pode causar, proporcionando maior conforto, e, conseqüentemente mais qualidade de vida aos residentes (OLIVEIRA; HEISLLER, 2021).

Sabendo disso este trabalho discorre sobre o desempenho acústico de uma fachada de um edifício localizado na cidade de Guarapuava-PR. Empreendimento inserido no contexto do Programa Casa Verde e Amarela (PCVA).

O PCVA é um programa do Governo Federal que possibilita moradia para pessoas com baixa renda. Financiado pela Caixa Econômica Federal, as edificações deste programa devem atender aos requisitos de qualidade para obter a certificação PBQP-H, Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (GONÇALVES *et al.*, 2002).

2 OBJETIVOS

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

2.1 Objetivo geral

Analisar o isolamento acústico da fachada de uma edificação que se enquadra no Programa Casa Verde Amarela.

2.2 Objetivos específicos

- Calcular a Diferença de Nível Padronizada e Ponderada à 2,00 m da fachada;
- Verificar o atendimento aos requisitos de desempenho mínimo para sistemas de vedação vertical externa (SVVE);
- Avaliar o sistema construtivo adotado conforme os requisitos de desempenho acústico de acordo com a norma brasileira.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados tópicos relevantes para esse trabalho, expondo o embasamento teórico para a pesquisa.

3.1 Conforto ambiental

Conforto ambiental está associado ao conjunto de estratégias para fornecer boas condições térmicas, lumínicas e acústicas, isto é, está relacionado com o nível de satisfação de um ser com a temperatura, iluminação e sons do ambiente em que está inserido (DALVITE *et al.*, 2007).

Esse conceito passou a ter relevância a partir do crescimento acelerado das regiões urbanas, que em conjunto com o eminente avanço da poluição, deixaram evidentes a necessidade de se conectar o clima com a arquitetura. É ocasionado pela carência de se controlar o desperdício energético provocado pela globalização.

3.2 Som e ruído

Bistafa (2018) define som como uma sensação produzida no sistema auditivo, enquanto ruído é um som inconveniente, normalmente, com conotação desfavorável. “Sons são vibrações das partículas do ar que se propagam a partir de estruturas vibrantes” (BISTAFA, 2018, p. 17).

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).

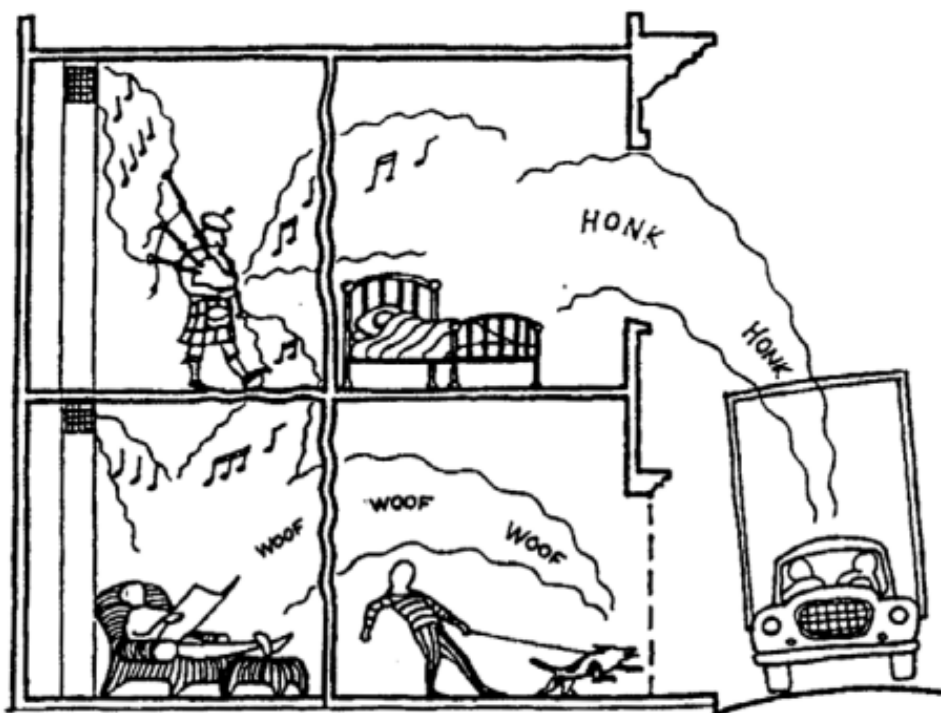
No trecho apresentado, Bistafa (2018) destaca que os sons indesejáveis, quando em níveis elevados, tornam-se prejudiciais à saúde tanto física, quanto psicológica do indivíduo que está submetido a estes ruídos.

Segundo Ferraz (2008) as edificações de múltiplos pavimentos estão sujeitas a ruídos com origem atribuídas de diferentes fontes, estes estão classificados em ruídos aéreo e de impacto.

3.2.1 Ruído aéreo

Aquele ruído que é transmitido longitudinalmente através do ar cuja fonte pode ser a voz humana, instrumentos musicais, eletrodomésticos, veículos, aviões, entre outros (PEDROSO *et al.*, 2007). A Figura 1 exemplifica fontes de ruído aéreo.

Figura 1 - Fontes de ruído aéreo.



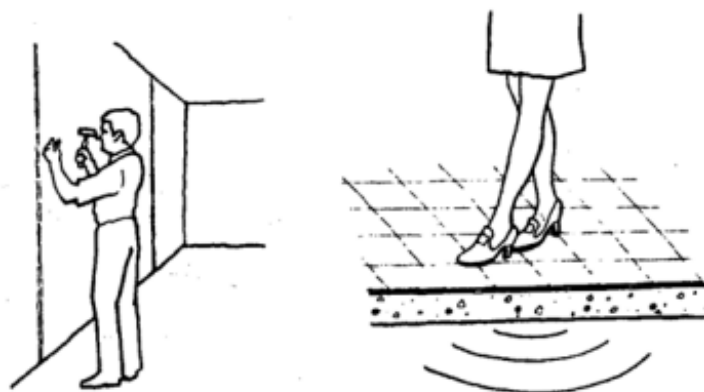
Fonte: Fahy (1987 apud FERRAZ, 2008).

3.2.2 Ruído de impacto

De acordo com Pedroso *et al.* (2007), ruídos de impacto, ou também conhecidos como ruído de estrutural, são transmitidos a partir de meios sólidos, líquidos e parcialmente pelo ar, dando origem a um movimento ondulatório e causando desconforto porque provoca oscilação na estrutura em todas as frequências, mesmo que os níveis de pressão gerados não tenham sido elevados. Geralmente é produzido por vibrações nos elementos da edificação, como por

exemplo: impacto em pisos, motores, elevadores, ruído hidráulico (FERRAZ, 2008). A Figura 2 traz exemplos de fontes de ruído de impacto

Figura 2 - Fontes de ruído de impacto.



Fonte: Mehta (1999 apud FERRAZ, 2008).

3.2.3 Nível de pressão sonora

Nível de pressão sonora é a medida física, em decibel (dB), que caracteriza a sensação subjetiva da intensidade dos sons, sendo o estímulo físico que melhor se conecta com a sensação do som (BISTAFA, 2018).

O cálculo do nível de pressão sonora de um ambiente faz-se através do logaritmo na base 10 da razão entre o valor médio da pressão sonora deste ambiente ao quadrado e a pressão sonora de referência ao quadrado, como mostra a equação 1 (ABNT, 2013):

$$L_{p(rms)} = 10 \cdot \log \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

Equação 1

Onde:

$L_{p(rms)}$ representa o nível de pressão sonora em decibel (dB);

p é a pressão sonora em Pascal (Pa);

p_0 é a pressão sonora de referência, usualmente adotada como 20 μ Pa.

De acordo com Bistafa (2018) a pressão sonora de referência p_0 é normalmente adotada como 20 μ Pa por ser o limiar da audição humana.

3.2.4 Ruído rosa

Este tipo de ruído foi desenvolvido para proporcionar um nível sonoro constante, por isso, é caracterizado por apresentar um nível que decai 3 dB por oitava. Assim, a frequência diminui à medida que a largura de banda aumenta (BISTAFA, 2018).

3.2.5 Ruído de fundo

Ruído de fundo são sons que normalmente não podem ser eliminados. São os ruídos que estão inseridos indiretamente no ambiente, ou seja, diversas fontes de ruído que ocorrem em consequência de atividades desenvolvidas em torno deste ambiente determinam um nível sonoro mínimo neste espaço, esse que é chamado de ruído de fundo (SOUZA *et al.*, 2012).

3.2.6 Tempo de reverberação

Tempo de reverberação é um importante indicador da qualidade acústica do ambiente e pode ser definido como o tempo necessário para que, após desligamento da emissão sonora de determinada fonte, o nível de pressão sonora do ambiente diminua 60 dB. Esse valor é apresentado em segundos (s) e é dado pela equação 2 (ABNT, 2021):

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

Equação 2

Onde T_{60} é o tempo de reverberação em segundos (s), V é o volume do ambiente em m^3 , A é a absorção total da sala em m^2 e 0,161 é uma constante dada em segundos por metro (s/m).

3.3 Conforto acústico

O aumento no nível de ruído ambiental, em razão do elevado fluxo de veículos, e em virtude da automatização de algumas atividades domésticas através da utilização de equipamentos barulhentos são os grandes vilões do conforto sonoro

em ambientes residenciais ou ambientes destinados ao trabalho intelectual (SILVA, 2019).

Segundo Santos *et al.* (2009), conforto acústico define os limites sonoros, medidos em decibéis, que devem ser respeitados para conservar a saúde auditiva e tornar o ambiente agradável em termos sonoros. Ainda de acordo com Santos *et al.* (2009), um ambiente se torna confortável acusticamente quando não existem barulhos indesejados.

Esse conceito tem sido uma exigência cada vez mais frequente por proprietários de unidades habitacionais em edifícios, principalmente pelo eminente crescimento vertical devido ao processo de urbanização (FERREIRA NETO; BERTOLI, 2009).

3.4 Isolamento acústico

Conforme Andrade (2009), o excesso de ruído pode causar estresse, irritabilidade, dificuldade para concentração, e, para evitar o desconforto que causam os ruídos oriundos do ambiente externo, ou de outros ambientes no edifício o isolamento acústico é fundamental.

Para que o sistema construtivo seja capaz de isolar o som, este deve assegurar a redução da transmissão dos ruídos a que está submetido com a utilização de elementos para a vedação vertical (KLIPPEL FILHO *et al.*, 2019).

De acordo com Oliveira e Heissler (2020), a mensuração do isolamento sonoro pode ser feita de forma isolada, onde cada material que constitui o elemento é testado separadamente em ensaios laboratoriais e simulações computacionais ou com ensaios de campo, onde os materiais unidos em conjunto formam um sistema construtivo.

3.5 Mapeamento acústico

Uma ferramenta importante para diagnosticar e auxiliar na tomada de decisões a respeito de um ambiente sonoro é o mapeamento acústico. Através destes mapas, é possível quantificar os níveis sonoros presentes em dado local, a partir de *softwares* de simulação (OLIVEIRA FILHO, 2014).

Ainda de acordo com Oliveira Filho (2014), por intermédio das equações físicas de propagação das ondas sonoras, com auxílio de interpolação e algumas correções, estes *softwares* geram mapas que determinam o nível de ruído e as principais fontes da área em estudo, facilitando a tomada de decisão para proporcionar o conforto sonoro.

3.6 Diferença de nível

A diferença de nível de pressão sonora entre dois cômodos produzida entre uma ou mais fontes sonoras é dada por $D = L_1 - L_2$ onde L_1 é a média energética dos níveis de pressão sonora no cômodo emissor (dB), isto é, onde está localizada a fonte sonora, e, L_2 é a média energética dos níveis de pressão sonora no cômodo receptor (dB) (CROCKER; ARENAS, 2021).

3.6.1 Diferença de nível padronizada ponderada

A diferença de nível padronizada ponderada ($D_{nT,w}$) determina o isolamento a ruído aéreo entre unidades autônomas e entre uma unidade, ou seja, ruído aéreo que pode ser percebido entre unidades com a mesmo sistema de vedação vertical interna (ABNT, 2021).

Ainda de acordo com ABNT (2021), os sistemas de vedação vertical interna (SVVI) precisa ter um nível de desempenho mínimo de diferença de nível padronizada ponderada. A Tabela 1 indica o $D_{nT,w}$ mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) dos elementos internos de separação de ambiente.

Tabela 1 – Níveis de desempenho, $D_{nT,w}$, de isolamento a ruído aéreo do sistema vedações verticais internas (SVVI). (continua)

Elemento de separação	$D_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações em que não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e as áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

Tabela 1 – Níveis de desempenho, $D_{nT,w}$, de isolamento a ruído aéreo do sistema vedações verticais internas (SVVI). (conclusão)

Elemento de separação	$D_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Parede cega entre uma unidade habitacional e as áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos, nas situações em que não haja ambiente dormitório	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S
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 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
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 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas, separadas pelo hall ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2021 (adaptado).

3.6.2 Diferença de Nível Padronizada e Ponderada à 2,00 m da fachada

Segundo ABNT (2021) a diferença de nível padronizada ponderada a 2,00 m de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$) determina o isolamento a ruído aéreo do sistema de vedação vertical externo (SVVE), portanto, é a quantidade de energia sonora de ruído aéreo proveniente de uma fonte localizada a 2,00 m da fachada que foi reduzido internamente do ambiente. A Tabela 2 apresenta os valores de desempenho mínimos determinados na ABNT NBR 15575-4:2021, para $D_{2m,nT,w}$.

Tabela 2 – Critério de isolamento de ruído aéreo de vedações externas para dormitórios.

Classe de ruído	L_{inc} (dB)	$D_{2m,nT,w}$ (dB) dormitórios	Nível de desempenho
I	≤ 60	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	61 a 65	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	66 a 70	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2021 (adaptado).

L_{inc} representa a pressão sonora incidente na fachada do cômodo. Os níveis de desempenho mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) dependendo da classe de ruído onde a edificação está localizada, que devem ser atendidos (ABNT, 2021). A classe de ruído é determinada por meio do seguinte:

- medições de ruído ambiental conforme a norma ABNT NBR 10151:2020 (Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento); ou
- simulações computacionais conforme a norma ABNT NBR ISO 17534-1 (Acústica – *Software* cálculo de som ao ar livre); ou
- pelo método simplificado descrito pelo Anexo F da norma ABNT NBR 15575-4 (2021).

3.7 Espectros de adaptação C e C_{tr}

Os termos de adaptação espectral são valores obtidos em decibéis, e adicionados ao valor único determinado, como uma correção de acordo com as características desse espectro (PATRÍCIO, 2005). Neste caso, existe o termo de adaptação espectral C, que está relacionado ao ruído rosa, e, o termo de adaptação C_{tr} , para o ruído de tráfego urbano (DE VASCONCELOS, 2017).

Na Quadro 1, a relação entre diversas fontes de ruído e seus termos de adaptação C e C_{tr} . Esta tabela pode ser uma diretiva para a aplicação dos termos de adaptação de espectro com o intuito de avaliar o isolamento acústico em relação às fontes nela citada (ABNT, 2021).

Quadro 1 – Termo de adaptação em função do tipo de fonte sonora. (continua)

Tipo de fonte de ruído	Termo de adaptação de espectro pertinente
Atividades comuns da vida (conversa, música, rádio, TV) Crianças brincando Tráfego ferroviário em média e alta velocidade ^a Tráfego rodoviário > 80 km/h ^a Aeronaves a jato, curta distância Fábricas emitindo principalmente ruídos de média e alta frequência	C (espectro nº 1)

Quadro 1 – Termo de adaptação de espectro pertinente. (conclusão)

Tipo de fonte de ruído	Termo de adaptação de espectro pertinente
Tráfego rodoviário urbano Tráfego ferroviário em baixas velocidades ^a Aeronaves, propelidas à hélice Aeronaves a jato, longa distância Música disco (Disco Music) Fábricas emitindo ruídos principalmente de baixa e média frequência	C_{tr} (espectro nº 2)
^a Em vários países europeus existem modelos de cálculo para o ruído do tráfego rodoviário e o ruído ferroviário, que definem os níveis em bandas de oitava; estes poderiam ser utilizados para comparação com os espectros nº 1 e nº 2	

Fonte: ABNT NBR ISO 717-1:2021 (adaptado).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão descritos os materiais utilizados para a realização dos ensaios, bem como os procedimentos necessários descritos nas normas para obtenção dos resultados.

4.1 Materiais

Abaixo estão descritos os equipamentos que foram utilizados nas medições, bem como a descrição do sistema construtivo que a empresa adotou.

4.1.1 Equipamentos utilizados

Para a produção do ruído foi necessária uma fonte sonora omnidirecional da marca Grom – modelo DDC – 100 (Figura 3). Este dispositivo possui alto-falantes posicionados nas superfícies de um poliedro, preferencialmente um dodecaedro. A posição da fonte sonora deve cumprir alguns critérios descritos em norma, e, esses critérios que serão utilizados para determinar qual o melhor local para posicionar a fonte no cômodo desejado.

Figura 3 – Fonte sonora.



Fonte: CESVA INSTRUMENTS (2021).

Microfone de campo livre 1/2" marca Brüel & Kjær modelo 4189 – Classe 1, ilustrado na Figura 4. Responsável por converter o sinal sonoro em um sinal elétrico equivalente. Para amplificar o sinal elétrico, possui um pré-amplificador tipo 2669 acoplado ao microfone (BRÜEL & KJÆR, 2021).

Figura 4 – Microfone.



Fonte: BRÜEL & KJÆR (2021).

Para medir os níveis sonoros foi utilizado um sonômetro digital marca Brüel & Kjær modelo 2250 – Classe 1, mostrado na Figura 5. Este equipamento é responsável por processar o sinal elétrico amplificado pelo microfone. O comportamento é semelhante ao ouvido humano, fornecendo medições objetivas e reproduzíveis do nível de pressão sonora (BRÜEL & KJÆR, 2021).

Figura 5 – Sonômetro com microfone utilizado nas medições.



Fonte: BRÜEL & KJÆR (2021).

Para calibragem do sonômetro, utilizou-se de um calibrador de nível sonoro, também da marca Brüel & Kjær do modelo 4231 – Classe 1, como o ilustrado na Figura 6. Ele tem a função de compensar as condições sonoras nas medições locais, calibrando o sonômetro antes de cada medição.

Figura 6 – Calibrador de nível sonoro.



Fonte: BRÜEL & KJÆR (2021).

Para as medições de respostas ao impulso, necessárias para o cálculo do tempo de reverberação por meio da resposta impulsiva integrada, foi utilizado um microfone modelo 4966-H-041, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Microfone para medições de ruído de fundo.



Fonte: BRÜEL & KJÆR (2021).

Ainda para as respostas ao impulso, foi utilizado um condicionador de sinais modelo 1704-A-001 do fabricante Bruel & Kjaer, ilustrado pela Figura 8.

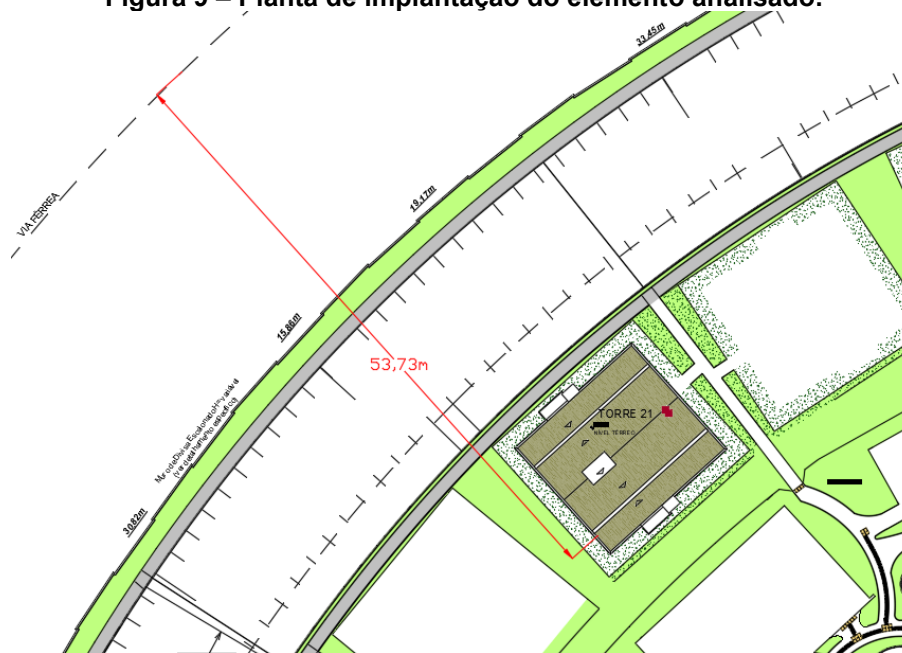
Figura 8 – Condicionador de sinais.



Fonte: BRÜEL & KJÆR (2021).

4.1.2 Caracterização do local de estudo

O empreendimento que foi alvo deste estudo está localizado em Guarapuava-PR. Possui 23 torres com 16 apartamentos, sendo 4 por andar, totalizando 368 unidades habitacionais. A Figura 9 apresenta a localização do empreendimento e a distância para a ferrovia.

Figura 9 – Planta de implantação do elemento analisado.

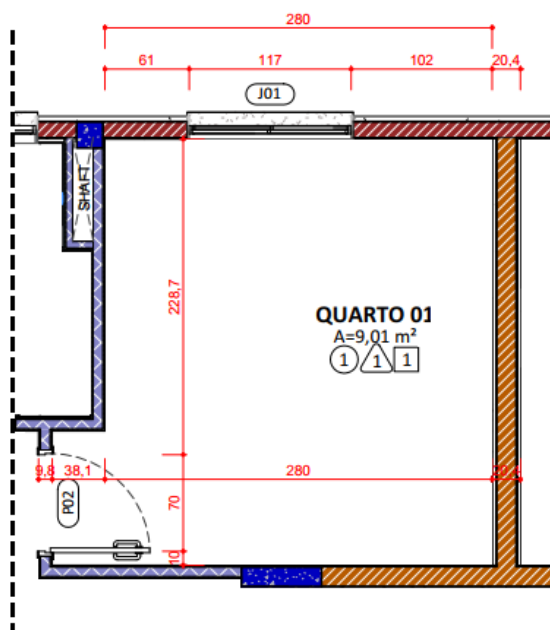
Fonte: Construtora (2022). (adaptado)

Na Figura 9, pode-se observar a localização do imóvel estudado, com uma medição da distância entre a fachada analisada e a linha férrea. Como o elemento de estudo não fica a mais de 1 km de distância de uma ferrovia, não é possível utilizar o método alternativo para a determinação da classe de ruído. O método alternativo está contido na ABNT NBR 15575-4:2021, convém em uma simplificação por suposição das influências das fontes sonoras nas fachadas, sem a realização de medições.

4.1.3 Caracterização do sistema construtivo

O quarto analisado possui uma área total de $9,01 \text{ m}^2$ e pé direito de $2,65 \text{ m}$ de altura, totalizando um volume final de $23,88 \text{ m}^3$. A Figura 10 ilustra a planta baixa do cômodo.

Figura 10 – Planta baixa do cômodo analisado com cotas (cm).



Fonte: Construtora (2022) (adaptado).

A parede vermelha, é de vedação externa e foi executada em alvenaria com blocos cerâmicos de 11,50 cm x 19,00 cm x 29,00 cm com revestimento da parte externa de 3,00 cm e revestimento da parte interna de 2,00 cm, totalizando assim, a espessura da fachada de 16,50 cm. As paredes em azul, são de vedação interna da unidade habitacional, feitas em gesso acartonado. As paredes em laranja, são de vedação interna para separação entre unidades habitacionais, executadas em alvenaria de blocos cerâmicos de 14,50 cm x 19,00 cm x 29,00 cm e o revestimento possui em 3,00 cm de espessura.

As esquadrias são feitas de alumínio com o tamanho de 1,16 m de altura e 1,17 m de largura, com 2 folhas de correr, vidro de 4,00 mm de espessura. A porta é feita em madeira com 0,70 m de largura e 2,10 m de altura.

4.2 Métodos

O método utilizado nos ensaios foi o de engenharia, apresentado na ABNT NBR 15575-4:2021 e descrito nas normas ABNT NBR ISO 16283-3:2021 (Acústica — Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações) e ABNT NBR ISO 717-1:2021 (Acústica — Classificação de isolamento acústico em edificações e elementos de edificações), que informam a

instrumentalização necessária para a execução do procedimento, bem como as orientações gerais para execução. Foram feitas medições para avaliar o isolamento da fachada e medições para o tempo de reverberação. O Quadro 2 descreve os procedimentos utilizados para a medição.

Quadro 2 – Procedimentos adotados para as medições.

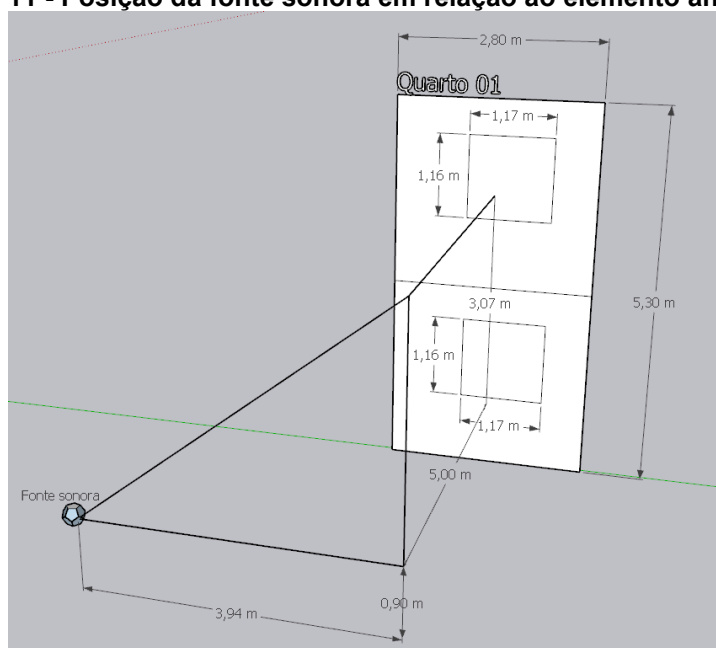
Elemento analisado	Normas utilizadas	Procedimento de medição para os níveis de isolamento	Procedimento de medição para o tempo de reverberação
Fachada com janela do quarto 02	ABNT NBR 16283-3, ABNT NBR ISO 717-1, ABNT NBR 15575-4	Método da fonte sonora com alto-falantes global e posições fixas de microfone.	Método de engenharia com ruído interrompido (ruído rosa). Método de engenharia com resposta impulsiva integrada com um ruído do tipo sweep exponencial e deconvolução linear.

Fonte: Autor (2022).

4.2.1 Medição do nível de pressão sonora externa

Para obter o valor da pressão sonora externa à edificação, posicionou-se a fonte e uma distância de 5,00 m da fachada, sobre um talude de 0,90 m de altura da distância do piso e à 3,94 m de distância do centro do elemento analisado, respeitando o ângulo de incidência sonora de $45^\circ \pm 5^\circ$ previstos na norma. A Figura 11 mostra a posição da fonte sonora em relação ao elemento analisado.

Figura 11 - Posição da fonte sonora em relação ao elemento analisado.



Fonte: Autor (2022).

Figura 12 – Medições do nível de pressão sonora externo.



Fonte: Autor (2022).

A Figura 12 mostra o posicionamento da fonte sonora e do microfone ligado ao sonômetro para as medições do nível de pressão sonora externo. Realizaram-se 5 medições com duração de 30 segundos cada e com o sonômetro no centro da parede da fachada a uma distância de 2,00 m no segundo pavimento. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a posição do sonômetro para as medições do nível de pressão sonora a 2,00 m da fachada visto de dentro do ambiente.

Figura 13 – Posição do sonômetro.

Fonte: Autor (2022).

4.2.2 Medição do nível de pressão sonora interna

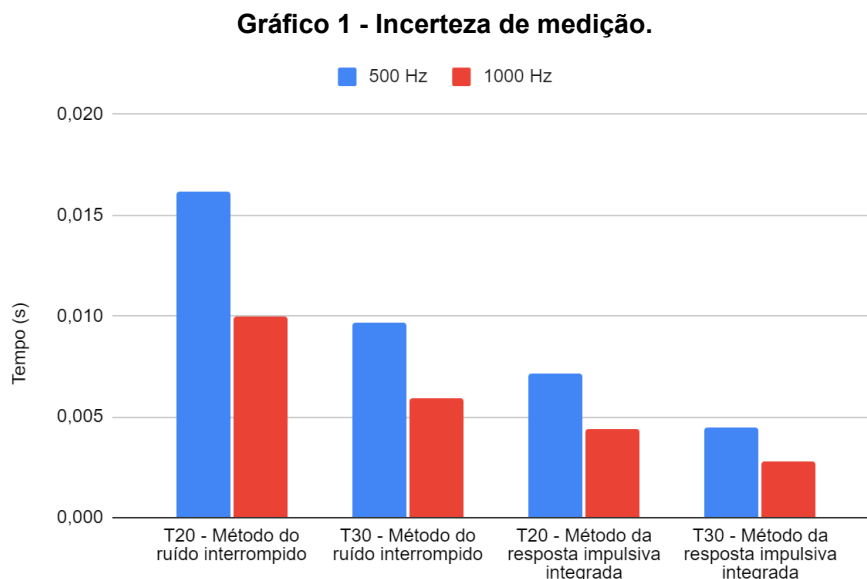
Para obter os níveis de pressão sonora no interior do quarto, manteve-se a fonte sonora na mesma posição, porém agora com o sonômetro no interior do cômodo. Da mesma forma que para obtenção da pressão sonora externa, foram feitas 5 medições de 30 segundos, entretanto variando a posição do sonômetro respeitando os requisitos da ABNT NBR ISO 16283-3:2021.

4.2.3 Medição do tempo de reverberação

As medições do tempo de reverberação foram feitas de duas formas diferentes. Através do método do ruído interrompido e o método de resposta impulsiva integrado. Para os cálculos, utilizou-se o segundo método com $T30^1$, por apresentar

¹ É o tempo que se leva para a densidade de energia sonora decair 30 dB após a interrupção da emissão sonora. Para cálculo do tempo de reverberação, é necessário analisar o tempo requerido para densidade de energia sonora média decair 60 dB após o desligamento da fonte, porém em recintos pequenos, esse valor pode não ser atingido. Então, faz-se a análise para $T30$, e multiplica-se o valor obtido por 2.

uma incerteza menor, como mostra o gráfico 1. Os valores para o cálculo da incerteza de medição podem ser verificados no Apêndice E.



Fonte: Autor (2022).

Assim, para as medições, respeitando o que solicita a ABNT NBR ISO 3382-2:2017 (Acústica — Medição de parâmetros de acústica de salas), foram feitas 6 medições, com a fonte sonora a uma altura de 1,50m do chão e em duas posições diferentes, para cada posição de fonte, o microfone posicionado de 3 formas diferentes. Ainda de acordo com a norma, a distância mínima entre cada ponto devia atender a equação 3:

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{cT}}$$

Equação 3

Onde V é o volume do ambiente (m^3), c é a velocidade do som (m/s) e T é uma estimativa do tempo de reverberação (s). Calculando com os valores obtidos, tem-se o seguinte:

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{cT}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{22,98}{340,29 \cdot 2,27}} = 0,35m$$

As distâncias adotadas, foram de 1 m, portanto, maior do que o mínimo exigido em norma. Após o posicionamento dos equipamentos, utilizou-se de um ruído do tipo

sweep exponencial com deconvolução linear gerado com auxílio dos *softwares* ITA Toolbox e MatLab para a obtenção dos resultados.

O procedimento de medição com o método da resposta impulsiva integrada foi realizado conforme a Figura 14. O microfone ligado à interface USB, a fonte sonora com amplificador ligado ao condicionador de sinais, que por sua vez está ligado ao computador, que possui o Matlab com ITA Toolbox para obter os valores do tempo de reverberação.

Figura 14 – Conexão dos equipamentos no método da resposta impulsiva integrada.



Fonte: Ribeiro (2020) (adaptado).

De acordo com Peters (2020), o cálculo da incerteza do tempo de reverberação para o decaimento de 30 dB (T_{30}), para o método da resposta impulsiva integrada é dado pela Equação 5:

$$u = \frac{\sigma}{\sqrt{n \cdot N}}$$

Equação 4

Onde σ é dado pela equação abaixo, retirada da norma ABNT NBR ISO 3382-2:2017:

$$\sigma(T_{30}) = 0,55 \cdot T_{30} \cdot \sqrt{\frac{1 + 1,52/n}{NBT_{30}}}$$

Equação 5

Onde T_{30} é o tempo de reverberação (s), baseado em uma faixa de frequência, n^2 é o número de decaimentos medidos em cada posição, N o número de posições independentes e B^3 é a largura de banda (Hz).

4.2.4 Medição do ruído de fundo

Para garantir a precisão dos experimentos, realizou-se a análise do nível ruído de fundo, com o objetivo de garantir baixas interferências sonoras no interior do ambiente.

De acordo com a ABNT NBR ISO 16283-3:2021, a diferença entre a média energética dos níveis de pressão sonora em uma sala e o nível de ruído de fundo, não pode estar entre 6 e 10 dB. Caso se enquadre nesse intervalo, deve ser aplicada a correção dos níveis de pressão sonora, utilizando a seguinte equação:

$$L_2 = 10 \cdot \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10})$$

Equação 6

Onde L_2 é o nível de sinal ajustado (dB), L_{sb} é o nível de ruído de fundo combinados (dB) e L_b é o nível de ruído de fundo (dB). Para utilizar a Equação 4, os valores de L_{sb} e L_b devem ser arredondados com uma casa decimal.

4.2.5 Cálculo da diferença de nível padronizada

De acordo com a ABNT NBR ISO 16283-3:2021, para obter a diferença de nível padronizado, utiliza-se da equação 7:

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

Equação 7

Onde D_{2m} é a diferença de nível (dB) dada pela equação 6:

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2$$

Equação 8

² A resposta impulsiva integrada corresponde à média do número infinito de excitações de ruído interrompido, por isso, adota-se $n = 10$.

³ Para um filtro de um terço de oitava $B = 0,23 f_c$ onde f_c é a frequência de banda (Hz)

T é o tempo de reverberação (s) e T_0 é o tempo de reverberação de referência que para habitações adota-se 0,5 segundos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão descritos os resultados obtidos através das medições em campo.

5.1 Resultados para o nível de pressão sonora externa

A partir dos dados obtidos com os equipamentos, calculou-se o nível de pressão sonora médio em ambiente externo a uma distância de 2,00 m em frente a fachada através da média logarítmica dos valores apresentados no Apêndice A, obtendo os valores mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Nível de pressão sonora médio à 2,00 m da fachada.

Frequência (Hz)	L _{1,2m} (dB)
100	73,9
125	77,8
160	70,5
200	61,1
250	62,7
315	60,9
400	64,2
500	62,0
630	54,5
800	48,5
1000	49,6
1250	53,4
1600	54,4
2000	62,5
2500	62,6
3150	60,1

Fonte: Autor (2022).

5.2 Resultados para o nível de pressão sonora interna

Ainda consumindo os dados obtidos com o auxílio do sonômetro, calculou-se, também por meio da média logarítmica, o nível de pressão sonora médio no interior

do cômodo com os dados descritos no Apêndice B. Os valores de nível de pressão no interior do ambiente estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Nível de pressão sonora no interior do quarto.

Frequência (Hz)	L ₂ (dB)
100	51,4
125	54,8
160	47,2
200	38,0
250	43,3
315	40,4
400	42,2
500	40,2
630	31,0
800	26,8*
1000	26,9
1250	29,2
1600	32,4
2000	38,3
2500	36,2
3150	31,8

Fonte: Autor (2022).

5.3 Resultados para o tempo de reverberação

O valor médio do tempo de reverberação com sua respectiva incerteza (Tabela 5), para cada frequência foi calculado aplicando a média aritmética nos dados do Apêndice D.⁴

Tabela 5 – Tempo de reverberação (s) com a incerteza (s). (continua)

Frequência (Hz)	T (s)	u (s)
100	0,819	0,006
125	1,807	0,008
160	1,863	0,007
200	1,969	0,006
250	3,047	0,007
315	2,919	0,006
400	2,575	0,005

* Valor precisou ser corrigido pois a diferença entre o nível de pressão sonora no interior do cômodo e o ruído de fundo foi menor que 10 dB.

Tabela 5 – Tempo de reverberação (s) com a incerteza (s). (conclusão)

Frequência (Hz)	T (s)	u (s)
500	2,340	0,004
630	2,314	0,004
800	2,056	0,003
1000	1,859	0,003
1250	1,660	0,002
1600	1,469	0,002
2000	1,363	0,002
2500	1,247	0,001
3150	1,113	0,001

Fonte: Autor (2022).

5.4 Resultados para o ruído de fundo

O nível médio de ruído de fundo, apresentado na Tabela 6, também foi calculado através da média logarítmica, a partir dos dados contidos no Apêndice C, que foram obtidos nas medições em campo.

Tabela 6 – Ruído de fundo.

Frequência (Hz)	R (dB)
100	51,4
125	54,8
160	47,2
200	38,0
250	43,3
315	40,4
400	42,2
500	40,2
630	31,0
800	25,5
1000	26,9
1250	29,2
1600	32,4
2000	38,3
2500	36,2
3150	31,8

Fonte: Autor (2022).

Com todos esses dados em mãos, é possível obter os valores da diferença de nível padronizada para as frequências entre 100 a 3150 Hz. Os valores da diferença de nível padronizada estão presentes na Tabela 7.

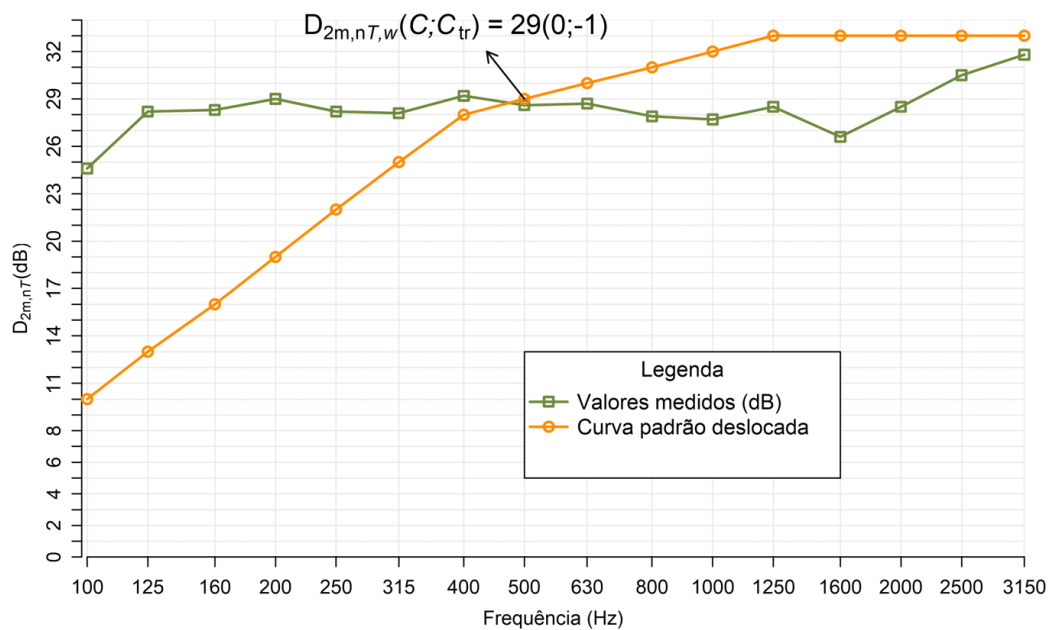
Tabela 7 – Diferença de nível padronizada.

Frequência (Hz)	D_{2m,nT} (dB)
100	24,6
125	28,2
160	28,3
200	29
250	28,2
315	28,1
400	29,2
500	28,6
630	28,7
800	27,9
1000	27,7
1250	28,5
1600	26,6
2000	28,5
2500	30,5
3150	31,8

Fonte: Autor (2022).

Com auxílio do código R disposto no Apêndice E, inseriu-se os dados obtidos como variáveis para plotar o Gráfico 2, que demonstra o desempenho acústico da fachada que é objeto principal de estudo deste trabalho.

Gráfico 2 – Desempenho acústico da fachada.



Fonte: Autor (2022).

O Gráfico 2 apresenta o valor do nível de desempenho de isolamento a ruído aéreo de vedações externas da fachada $D_{2m,nT,w}$ de 29 (dB), sem cálculo de incertezas, com os espectros de adaptação $C = 0$ e $C_{tr} = -1$.

6 CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi analisar o isolamento acústico da fachada de um empreendimento residencial localizado na cidade de Guarapuava-PR, a partir de ensaios realizados na edificação, orientados pela ABNT NBR ISO 16283-3:2021.

Verificou-se que as incertezas calculadas para o tempo de reverberação não representaram valores significativos que alterassem os valores da diferença de nível padronizada. Não foi calculado a incerteza para o nível de desempenho acústico da fachada por não haver informações sobre esta incerteza na literatura em função cômodo de recepção possuir menos de 25,00 m³.

Obteve-se um valor de 29 dB para o isolamento sonoro que é maior que os 25 dB exigidos como requisito mínimo para a classe de ruído II de acordo com a ABNT NBR 15575-4:2021, para ambientes de dormitório, conforme exhibe a Tabela 2.

Apesar de atender os requisitos mínimos da NBR para classe de ruído II, seria interessante aplicar algumas correções construtivas ao elemento analisado, visto que existe uma ferrovia a poucos metros.

É possível verificar que, apesar do sistema construtivo adotado não ter nenhum elemento específico para aumentar a qualidade do isolamento sonoro, esta habitação do programa Casa Verde e Amarela teve resultados satisfatórios.

Com a verticalização das habitações, o conforto acústico passou a ser um fator preponderante na escolha de uma habitação, com isso, surgiram as normas reguladoras do desempenho acústico. Conseqüentemente, a construção civil no Brasil, passou a adotar soluções construtivas que apresentem maior conforto ao usuário.

Finalmente, em complemento a esse trabalho de pesquisa, seria interessante um estudo para caracterizar o mapa de ruído da região, projetando o volume de tráfego. Esse complemento seria contribuiria positivamente para assegurar os resultados obtidos, garantindo se o nível de isolamento acústico está de acordo com a classe de ruído do empreendimento.

REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT (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. Primeira edição. 2021.
- 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). **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
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **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.
- ANDRADE, Joana Maria Figueiredo Mota de et al. **Caracterização do conforto acústico em escolas**. 2009.
- BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. Editora Blucher, 2018.
- BRÜEL & KJÆR. **SONÔMETRO / ANALISADOR DE MÃO**. Disponível em: <https://www.bksv.com/pt/instruments/handheld/sound-level-meters/2250-series/type-2250-s>. Acesso em: 28 nov. 2021.
- CARNEIRO, Paula Capanema Silva; OLIVEIRA, Raquel Diniz. Desempenho termo acústico de sistemas construtivos: estudo de ferramentas aplicáveis a verificação da conformidade de habitação multifamiliar segundo requisitos da nbr 15.575/2013. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 25, n. 1, 2020. FapUNIFESP (SciELO).
- CESVA INSTRUMENTS (Espanha). **Fonte sonora omnidireccional**. 2021. Disponível em: <https://www.cesva.com/pt/produtos/sonometros/fp122/#supp>. Acesso em: 28 nov. 2021.
- CROCKER, Malcolm J.; ARENAS, Jorge P. **Engineering acoustics: noise and vibration control**. John Wiley & Sons, 2021.
- DALVITE, Bárbara et al. Análise do conforto acústico, térmico e lumínico em escolas da rede pública de Santa Maria, RS. **Disciplinarum Scientia| Artes, Letras e Comunicação**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2007.
- DE VASCONCELOS, João David Ribeiro. **Desempenho acústico de soluções construtivas**. 2017. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico do Porto (Portugal).
- DO CARMO FARIA, Moacir; DE MELLO, Josiane Medeiros. **POLUIÇÃO SONORA: UM INIMIGO SORRATEIRO**. 2008.

DO NASCIMENTO, Rhenan Giorgiani et al. Avaliação da poluição sonora na Unicamp. **Revista Ciências do Ambiente On-line**, v. 3, n. 1, 2007.

FAHY, Frank. **Foundations of Engineering Acoustics**. London, UK: Elsevier, 2001. 443p.

FERRAZ, Rafaela. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos**. 2008.

GONÇALVES, Karenn Eliza Renaud et al. **Análise do cumprimento de requisitos do PBQP-H em uma construtora associada ao programa "Casa Verde e Amarela"**. 2022.

GONÇALVES, Pedro Henrique; CARVALHO, Michele Tereza Marques. Isolamento acústico de paredes de um dormitório por modelo simplificado [Acoustic insulation of a bedroom walls by simplified model]. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [S.L.], v. 14, n. 2, 26 abr. 2018. Universidade Federal de Goiás.

KLIPPEL FILHO, Sérgio; LABRES, Henrique Santos; PACHECO, Fernanda; OLIVEIRA, Maria Fernanda de; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Influência da espessura de revestimentos de argamassa no desempenho acústico de alvenarias de blocos cerâmicos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 145-156, abr. 2019.

MEHTA, Madan; JOHNSON, James; ROCAFORT, Jorge. **Architectural Acoustics: principles and design**. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 445p.

NETO, Maria de Fatima Ferreira; BERTOLI, Stelamaris Rolla. Conforto acústico entre unidades habitacionais em edifícios residenciais de São Paulo, Brasil. **Anais da Acústica**, p. 1-10, 2008.

OLIVEIRA, Gabriel Anibal Santos de. **Verticalização urbana em cidades médias: o caso de Santa Cruz do Sul-RS**. 2012.

OLIVEIRA FILHO, Marcus Vinícius Manfrin de. **Ruído ambiental: avaliação acústica de edificações em Curitiba-PR**. 2014. 152 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, Maria Fernanda; HEISLER, Rafael. Análise comparativa do isolamento acústico em diferentes geometrias: ensaios em campo e simulações computacionais. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 385-402, 2020.

PATRÍCIO, J. V. Acústica de Edifícios: índices de isolamento a sons aéreos utilizados no espaço europeu. **Revista de Acústica**, v. 35, n. 3, p. 5-10, 2005.

PEDROSO, Miguel Angelo Teixeira et al. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. 2007.

PETERS, Robert (Ed.). **Uncertainty in Acoustics: Measurement, Prediction and Assessment**. CRC Press, 2020.

RHEINGANTZ, Paulo Afonso. Pequena digressão sobre conforto ambiental e qualidade de vida nos centros urbanos. **Revista Ciência & Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 36-58, 1990.

RIBEIRO, Rodrigo S. **Caracterização do condicionamento acústico de uma sala de aula com o uso de painéis de madeira**. 2020. 305 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

RINDEL, Jens Holger. **Sound Insulation in Buildings**. 1. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2018.

SANTOS, Juliana Feitosa dos; SELIGMAN, Lilian; TOCHETTO, Tania Maria. Conforto acústico na percepção de escolares alfabetizados. **Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia**, v. 17, p. 254-259, 2012.

SCHERER, Claudio Trindade; OLIVEIRA, Maria Fernanda de; MEDEIROS, Daniel Reis; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Desempenho acústico de conjuntos de portas e paredes separadas pelo hall de entrada. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 165-181, set. 2019. FapUNIFESP (SciELO).

SILVA, Giovane da. **Verificação do conforto acústico de edifícios habitacionais pós-ocupados—estudo de caso em Santa Rosa-RS**. 2019.

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

ANEXO A - Certificados de calibração dos materiais utilizados



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.



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

RBC-A-2022/148



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 & Kjaer

Modelo: 4966

Num. de Série: 3280100 Patrimônio: 630093

O.S.: N/A

3- Padrões Utilizados

<i>Descrição</i>	<i>Data de Calibração</i>	<i>Certificado</i>	<i>Emitente</i>	<i>Validade</i>
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 & Kjaer 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 21,7°C Umidade 63,3% Pressão 92,5kPa



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 & Kjaer

Modelo: 4189

Num. de Série: 3280608

O.S.: N/A

3- Padrões Utilizados

<i>Descrição</i>	<i>Data de Calibração</i>	<i>Certificado</i>	<i>Emitente</i>	<i>Validade</i>
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 & Kjaer 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



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

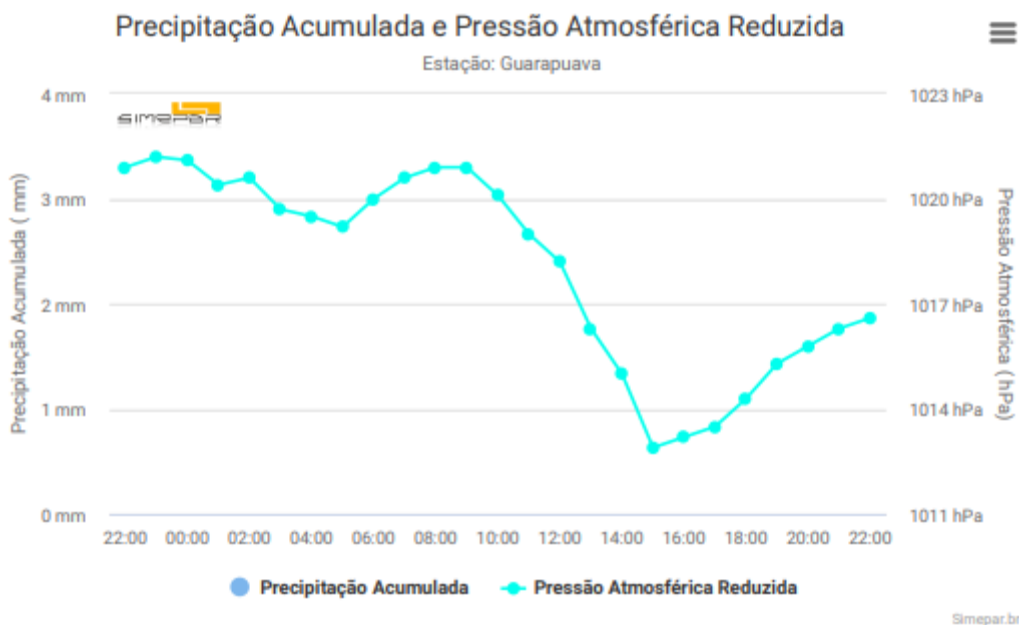
Data de Calibração: 08/04/2022
Procedimento Utilizado: Procedimento Utilizado: Procedimento Operacional POP-5.4-06 - Rev03 - Calibração de calibradores acústicos.

Condições Ambientais: Temperatura: 21,6°C Umidade: 63,4% Pressão: 92,52kPa

ANEXO B – Condições climáticas do dia da realização das medições

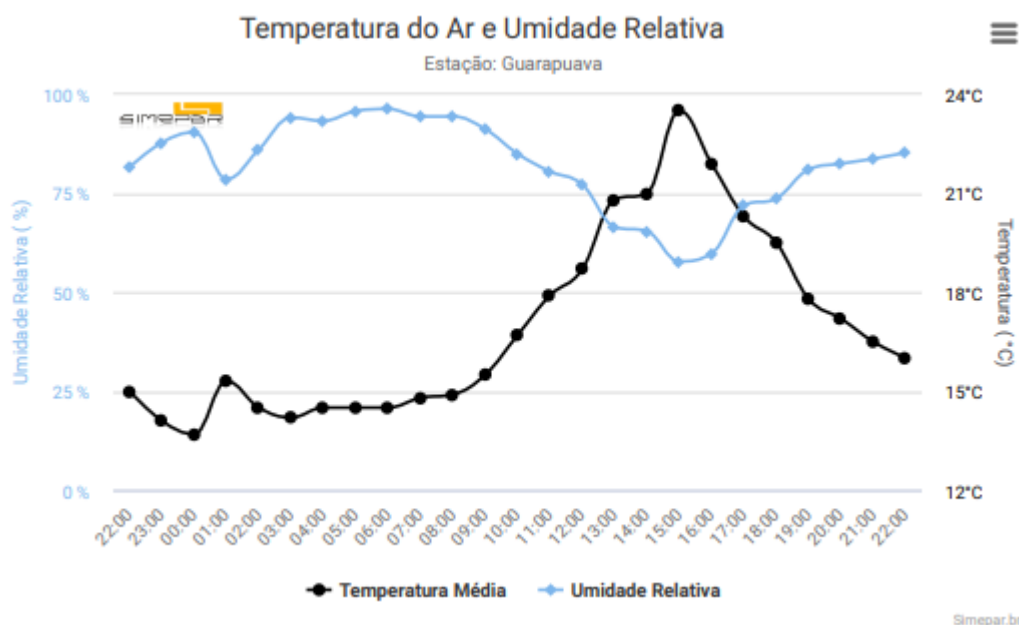
As figuras abaixo apresentam as condições climáticas no dia de realização das medições. Dados retirados do site do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná – Simepar.

Figura 15 - Precipitação acumulada (mm) e pressão atmosférica (hPa).



Fonte: Simepar (2022).

Figura 16 - Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%).



Fonte: Simepar (2022).

Figura 17 - Velocidade e rajada do vento (km/h).

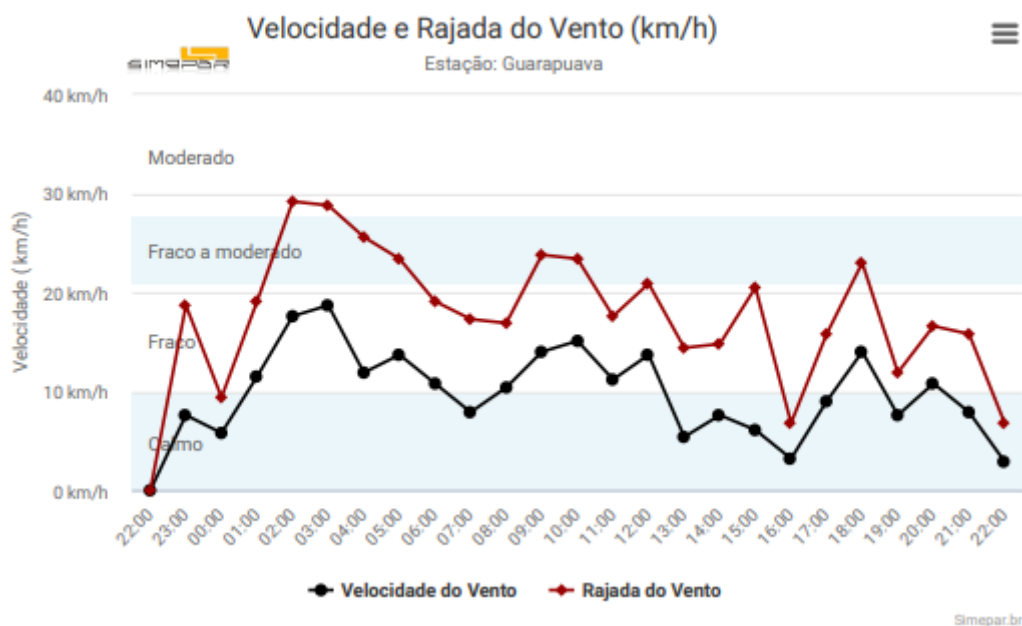


Figura 18 - Condições climáticas do dia 02/10/2022.

Guarapuava

15.5°C

5 km/h

UR
88%

0.0 mm

Atualizado em 22:45 - 03/10/2022

Fonte: Simepar (2022).

APÊNDICE A – Dados do nível de pressão sonora a 2,00 m da fachada

Na Tabela 8 estão demonstrados os valores dos níveis de pressão sonora externo a 2,00 m da fachada ($L_{1,2m}$) obtidos em cada uma das 5 medições para cada faixa de frequência.

Tabela 8 – Níveis de pressão sonora a 2,00 m da fachada obtidos no sonômetro.

Frequência (Hz)	Medições (dB)				
	$L_{1,2m,1}$	$L_{1,2m,2}$	$L_{1,2m,3}$	$L_{1,2m,4}$	$L_{1,2m,5}$
100	74,01	73,77	73,51	74,23	73,75
125	78,11	77,54	77,53	77,64	77,97
160	71,05	70,30	70,19	70,16	70,52
200	61,21	60,99	60,90	61,14	61,15
250	62,79	62,76	62,71	62,39	62,76
315	60,64	60,49	61,10	61,39	60,81
400	63,90	63,98	64,20	64,36	64,34
500	61,58	61,61	62,23	62,55	62,08
630	54,46	54,43	54,65	54,64	54,38
800	48,26	48,41	48,72	48,48	48,42
1000	49,48	49,50	49,57	49,62	49,60
1250	53,16	53,47	53,42	53,42	53,34
1600	54,02	54,57	54,55	54,35	54,51
2000	61,89	62,83	62,71	62,26	62,64
2500	62,57	62,52	62,50	62,56	62,64
3150	60,65	59,72	59,76	60,27	59,98

Fonte: Autor (2022).

APÊNDICE B – Dados do nível de pressão sonora no interior do quarto

Na Tabela 9 estão demonstrados os valores dos níveis de pressão sonora no interior do dormitório (L_2) obtidos em cada uma das 5 medições para cada faixa de frequência. Por conta da diferença entre o Nível de Pressão Sonora e o Ruído de Fundo ter sido menor que 10 dB, precisou de uma correção para a frequência de 800 Hz.

Tabela 9 – Níveis de pressão sonora obtidos pelo sonômetro no interior do dormitório.

Frequência (Hz)	Medições (dB)				
	$L_{2,1}$	$L_{2,2}$	$L_{2,3}$	$L_{2,4}$	$L_{2,5}$
100	51,82	36,03	54,09	52,90	49,40
125	55,75	51,96	55,72	54,30	56,60
160	48,23	46,76	46,44	47,20	48,70
200	39,76	36,40	37,16	38,40	37,30
250	43,08	43,67	43,25	41,40	36,60
315	40,95	40,04	40,23	40,80	39,50
400	42,54	41,63	42,36	42,90	40,40
500	40,78	39,83	40,08	41,00	39,30
630	31,00	31,06	30,99	35,90	31,07
800	26,07	25,16	25,25	31,30	25,30
1000	27,30	26,49	26,93	29,40	26,80
1250	28,98	29,27	29,44	32,60	28,70
1600	32,78	31,99	32,44	33,40	31,80
2000	39,45	38,15	37,11	38,00	38,70
2500	37,33	35,87	35,10	35,70	35,70
3150	31,81	31,77	31,78	32,20	31,40

Fonte: Autor (2022).

APÊNDICE C – Dados do ruído de fundo

A Tabela 10 apresenta os dados de ruído de fundo.

Tabela 10 – Dados de ruído de fundo obtidos pelo sonômetro.

Frequência (Hz)	Medições (dB)		
	R ₁	R ₂	R ₃
100	51,82	36,03	54,09
125	55,75	51,96	55,72
160	48,23	46,76	46,44
200	39,76	36,40	37,16
250	43,08	43,67	43,25
315	40,95	40,04	40,23
400	42,54	41,63	42,36
500	40,78	39,83	40,08
630	31,00	31,06	30,99
800	26,07	25,16	25,25
1000	27,30	26,49	26,93
1250	28,98	29,27	29,44
1600	32,78	31,99	32,44
2000	39,45	38,15	37,11
2500	37,33	35,87	35,10
3150	31,81	31,77	31,78

Fonte: Autor (2022).

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

A Tabela 11 apresenta os dados do tempo de reverberação obtidos nos ensaios. As medições são feitas variando a fonte sonora de posição, sendo no mínimo 2 posições diferentes para a fonte sonora. E, variando o microfone em pelo menos 2 posições para cada posição da fonte, neste caso, houve uma variação de 3 posições de microfone.

Tabela 11 – Dados do tempo de reverberação obtidos no sonômetro.

Frequência (Hz)	Medições (s)					
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
100	0,68	0,83	0,79	1,02	0,73	0,87
125	1,91	1,64	1,69	1,81	1,86	1,93
160	1,87	1,69	2,00	2,00	1,85	1,77
200	1,94	1,92	1,65	2,31	1,99	2,00
250	3,96	2,82	3,00	2,66	2,76	3,08
315	2,98	3,16	3,00	3,00	2,81	2,56
400	2,60	2,86	2,43	2,60	2,44	2,53
500	2,32	2,55	2,02	2,40	2,00	2,75
630	2,37	2,37	2,16	2,43	2,25	2,30
800	2,22	2,00	1,95	1,97	2,13	2,07
1000	1,94	1,82	1,74	1,76	1,89	2,00
1250	1,88	1,59	1,63	1,57	1,62	1,68
1600	1,64	1,43	1,38	1,40	1,50	1,47
2000	1,54	1,32	1,29	1,30	1,39	1,33
2500	1,38	1,17	1,21	1,23	1,30	1,19
3150	1,23	1,07	1,06	1,07	1,16	1,10

Fonte: Autor (2022).

APÊNDICE E – Dados para o gráfico de incertezas

A Tabela 12 apresenta os dados para cálculo da incerteza para o tempo de reverberação.

Tabela 12 – Dados para cálculo da incerteza do tempo de reverberação (s)

Método		Incerteza de medição (s)	
		500 Hz	1000 Hz
Ruído interrompido	T20	0,0162	0,0100
	T30	0,0097	0,0059
Resposta impulsiva integrada	T20	0,0071	0,0044
	T30	0,0045	0,0028

Fonte: Autor (2022).

APÊNDICE F – Código R utilizado para gerar o gráfico

```
library(calibrate)
library(Cairo)
```

```
A<-
```

```
c(24.6,28.2,28.3,29.0,28.2,28.1,29.2,28.6,28.7,27.9,27.7,28.5,26.6,28.5,30.5,31.8)#C
```

```
oquete aqui os valores de D2M,nT
```

```
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
```

```
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)),digits=0)+1
```

```
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)
```

```
#CORRÇÃO 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]
```

```
#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]
```

```

#print(SP12)

Cairo::Cairo(
  30, #length
  20, #width
  file = paste("facht30int", ".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('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)
textxy(D[8]-
0.11,(B3[8]+3),bquote('D['^2m,n'][T,w]*(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("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()

```