

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL - GUARAPUAVA
ENGENHARIA CIVIL**

VICTÓRIA ASSUMPÇÃO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE CÔMODOS
GEMINADOS: ESTUDO DE CASO EM UM CONJUNTO
HABITACIONAL EM GUARAPUAVA-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2021

VICTÓRIA ASSUMPCÃO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE CÔMODOS
GEMINADOS: ESTUDO DE CASO EM UM CONJUNTO
HABITACIONAL EM GUARAPUAVA-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro

Coorientadora: Eng^a Yassana Carissa Fritsch Cararo

GUARAPUAVA

2021

ATA DE DEFESA

Realizou-se no dia **25**, de **agosto** de 2021, às **14 h 00 min**, no Campus Guarapuava da UTFPR, a defesa Trabalho de Conclusão de Curso, como requisito parcial para aprovação da aluna **Victória Assumpção de Oliveira**, na disciplina de TCC2 do Curso de Engenharia Civil intitulado: **Análise do desempenho acústico de cômodos geminados: estudo de caso em um conjunto habitacional em Guarapuava-PR.**

A Banca foi composta pelo Presidente:

Rodrigo Scoczynski Ribeiro (Orientador), e pelos seguintes membros:

Márcio Henrique de Avelar Gomes

Rosemara Santos Deniz Amarilla

Guarapuava, 25 de agosto de 2021.

Dedico este trabalho aos meus pais, por
terem batalhado ao meu lado nesta
jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter sido meu alicerce todos estes anos e por me possibilitar alcançar meu objetivo.

Aos meus pais, Sandro e Eliane, por encararem meu sonho como prioridade e por sempre acreditarem em mim. Vocês são minha base!

Ao meu irmão, Johnny, por toda ajuda tecnológica e pelo lindo presente que me deu, meu sobrinho Arthur, que me incentiva a ser uma pessoa melhor todos os dias.

Ao meu orientador, Rodrigo Scoczynski, por todos os conhecimentos compartilhados sempre com muita paciência e por ter me auxiliado em todas as medições.

Ao meu namorado, Gustavo Baroni Simionato, com seu apoio e companhia diária, mesmo a quilômetros de distância, foi possível vencer os obstáculos que surgiam durante esta caminhada.

À minha irmã de coração, Victoria Facin, por sempre se fazer presente e me fortalecer.

Às minhas amigas Alessandra Emy, Marcela Souza, Thaianne Lincoln e Vanessa Gomes, pelo companheirismo e por tornarem esta jornada mais leve.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Guarapuava pela formação profissional e por conceder todos os equipamentos necessários para as medições.

Meus sinceros agradecimentos, de forma geral, a todos que passaram pelo meu caminho durante estes anos e que de alguma forma me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

Trabalha com gosto e terás o gosto do
trabalho. (FRANKLIN, Benjamin)

RESUMO

OLIVEIRA, Victória Assumpção de. **Análise do desempenho acústico de cômodos geminados:** estudo de caso em um conjunto habitacional em Guarapuava-PR. 2021. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2021.

O conforto acústico das edificações tem se tornado um requisito de relevância ao se avaliar um imóvel. No atual cenário pandêmico, esse assunto requer maiores atenções, visto que as atividades de *home office* se intensificaram e os cômodos das próprias residências dos funcionários serviram de locais de trabalho, muitas vezes não sendo apropriado para tal função. Ao mesmo tempo, o crescimento vertical das cidades é uma realidade, gerando uma maior proximidade das habitações, que como consequência eleva a percepção de ruídos, em especial o ruído aéreo. Com a implementação da norma brasileira de desempenho (NBR 15575) em 2013, o isolamento acústico das edificações passou a ser um item no qual possui requisitos pré-estabelecidos que devem ser seguidos, ficando os órgãos públicos responsáveis por tal fiscalização. Portanto, o presente estudo visa analisar o desempenho acústico de um conjunto habitacional na cidade de Guarapuava-PR, devido ao seu crescimento no setor da construção civil. As medições seguiram o método de engenharia realizado em campo abordado pela NBR 15575-4 (ABNT, 2021), em cômodos geminados, sem móveis e desocupados. Foram coletados os dados de nível de pressão sonora, tempo de reverberação e ruído de fundo dos ambientes, realizando as médias energéticas dos resultados e a análise final em código R. Os resultados obtidos, ao serem comparados com as exigências normativas, mostraram que os quartos e salas das unidades habitacionais necessitam de melhorias para que se adequem à norma, enquanto as cozinhas e salas separadas pelo *hall* estão classificadas como nível de desempenho mínimo. Em síntese, percebe-se que o conforto ambiental dos usuários ainda é um aspecto que necessita de melhor análise construtiva, pois melhorias pós-obra apresenta maior dificuldade executiva e, principalmente, expor os usuários a ruídos excessivos pode causar problemas graves de saúde.

Palavras-chave: Desempenho acústico. Conforto ambiental. Ruídos. *Home office*. Conjunto habitacional.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Victória Assumpção de. **Analysis of the acoustic performance of semi-detached rooms:** case study in a housing estate in Guarapuava-PR. 2021. 93 f. Work of Conclusion Course in Civil Engineering - Federal Technology University - Paraná. Guarapuava, 2021.

The acoustic comfort of buildings has become a requirement of importance when evaluating a property. In the current pandemic scenario, this issue requires greater attention, as home office activities have intensified and the rooms in the employees' own residences served as workplaces, often not being appropriate for this function. At the same time, the vertical growth of cities is a reality, generating greater proximity to homes, which as a consequence increases the perception of noise, especially air noise. With the implementation of the Brazilian performance standard (NBR 15575) in 2013, the acoustic insulation of buildings became an item in which it has pre-established requirements that must be followed, with public bodies being responsible for such inspection. Therefore, this study aims to analyze the acoustic performance of a housing complex in the city of Guarapuava-PR, due to its growth in the civil construction sector. The measurements followed the engineering method carried out in the field covered by NBR 15575-4 (ABNT, 2021), in semi-detached, unfurnished and unoccupied rooms. Data on sound pressure level, reverberation time and background noise of the environments were collected, performing the energy averages of the results and the final analysis in R code. The results obtained, when compared with the normative requirements, showed that the bedrooms and living rooms in housing units need improvement to meet the standard, while kitchens and living rooms separated by the hall are classified as a minimum performance level. In summary, it is clear that the environmental comfort of users is still an aspect that needs better constructive analysis, as post-construction improvements present greater executive difficulty and, mainly, exposing users to excessive noise can cause serious health problems.

Keywords: Acoustic performance. Environmental comfort. Noises. Work at home. Multifamily Building.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL	15
2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	15
3 PROPRIEDADES FÍSICAS DA ACÚSTICA	16
3.1 SOM E RUÍDO	16
3.1.1 Ruído Aéreo.....	16
3.1.2 Ruído de Impacto.....	17
3.1.3 Ruído de Fundo	18
3.1.4 Ruído Rosa	18
3.2 ONDAS SONORAS	19
3.3 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....	19
3.4 NÍVEL DE INTENSIDADE SONORA	19
3.5 FREQUÊNCIA	20
3.6 DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL	21
3.6.1 Diferença Padronizada de Nível Ponderada.....	21
3.6.2 Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de Distância da Fachada	22
3.7 ISOLAMENTO SONORO.....	22
3.8 TEMPO DE REVERBERAÇÃO	22
4 OS RUÍDOS E SEUS IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA	23
5 ISOLAMENTO AO RUÍDO AÉREO	25
5.1 LEI DAS MASSAS	25
5.2 SISTEMAS MASSA-MOLA-MASSA	26
6 SISTEMAS CONSTRUTIVOS	28
6.1 ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO.....	28
6.2 CONSTRUÇÃO MODULAR E <i>STEEL FRAMING</i>	29
6.3 <i>DRYWALL</i>	30
7 MATERIAIS E MÉTODOS	32
7.1 MATERIAIS.....	32
7.2 MÉTODOS.....	34
7.2.1 Caracterização dos Ambientes	36
7.2.1.1 Cozinha	36
7.2.1.2 Sala.....	39
7.2.1.3 Sala separada pelo <i>hall</i>	40
7.2.1.4 Quarto	41
7.2.2 Médias Energéticas do Procedimento-Padrão.....	43
8 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
8.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA COZINHA.....	45

8.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SALA.....	48
8.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SALA SEPARADA PELO <i>HALL</i>	51
8.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO QUARTO	54
8.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE RUÍDO DE FUNDO.....	57
8.6 SUGESTÕES DE MELHORIA	58
9 CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS.....	60
ANEXO A - Certificados de calibração dos materiais utilizados.....	65
ANEXO B - Condições climáticas durante as medições.....	68
APÊNDICE A - Dados fornecidos pelo sonômetro na medição da cozinha.....	70
APÊNDICE B - Dados fornecidos pelo sonômetro na medição da sala	74
APÊNDICE C - Dados fornecidos pelo sonômetro na medição da sala separada pelo <i>hall</i> 78	
APÊNDICE D - Dados fornecidos pelo sonômetro na medição do quarto	82
APÊNDICE E - Código R para interpretação gráfica dos dados	86
APÊNDICE F - Dados de ruído de fundo.....	89
APÊNDICE G - Análise das incertezas de medição.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Meios de transmissão do ruído aéreo	17
Figura 2 - Espectro do ruído rosa.....	18
Figura 3 – Curvas de ponderação	20
Figura 4 - Curva típica de perda na transmissão em função da frequência do som incidente.....	26
Figura 5 - Eficiência do sistema Massa-Mola-Massa	27
Figura 6 - Estrutura residencial em <i>steel framing</i>	29
Figura 7 - Comparativo entre o desempenho acústico de alvenaria e <i>drywall</i>	31
Figura 8 - Sonômetro 2250 <i>Brüel & Kjær</i> classe 1	32
Figura 9 – Microfone 1/2" 4189 <i>Brüel & Kjær</i>	33
Figura 10 – Calibrador 4231 <i>Brüel & Kjær</i> classe 1	33
Figura 11 – Amplificador FA501 <i>Hypex</i>	34
Figura 12 – Posicionamento dos equipamentos de medição	35
Figura 13 – Configurações do sonômetro para medição de tempo de reverberação.....	36
Figura 14 - Bloco utilizado para as divisórias externas das unidades habitacionais	37
Figura 15 – Planta baixa das cozinhas geminadas analisadas	38
Figura 16 – Caracterização da cozinha emissora	38
Figura 17 – Planta baixa das salas geminadas analisadas.....	39
Figura 18 – Caracterização da sala receptora.....	40
Figura 19 - Planta baixa das salas separadas pelo <i>hall</i> analisadas	40
Figura 20 – Caracterização do <i>hall</i> de circulação.....	41
Figura 21 - Planta baixa dos quartos geminados analisados	42
Figura 22 - Bloco utilizado para as divisórias de quartos geminados.....	42
Figura 23 - Caracterização do quarto receptor.....	43
Figura 24 – Desempenho acústico da cozinha.....	47
Figura 25 – Desempenho acústico da sala	50
Figura 26 – Desempenho acústico da sala separada pelo <i>hall</i>	53
Figura 27 – Desempenho acústico do quarto.....	56
Figura 28 – Análise do ruído de fundo	57
Figura 29 - Certificado de calibração do sonômetro 2250.....	66
Figura 30 - Certificado de calibração do calibrador 4231	67
Figura 31 - Temperatura do ar e umidade no dia 14/05/2021 em Guarapuava	69
Figura 32 – Pressão atmosférica no dia 14/05/2021 em Guarapuava	69
Figura 33 - Algoritmo para determinar a diferença padronizada de nível ponderada.....	88

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes para ensaio de campo.....	21
Quadro 2 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa	22
Quadro 3 - Efeitos causados pelo ruído	23

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados dos cálculos da cozinha para a fonte sonora 1.....	45
Tabela 2 – Resultados dos cálculos da cozinha para a fonte sonora 2.....	46
Tabela 3 – Média energética das diferenças padronizadas de nível da cozinha	46
Tabela 4 – Resultados dos cálculos da sala para a fonte sonora 1	48
Tabela 5 – Resultados dos cálculos da sala para a fonte sonora 2	48
Tabela 6 – Média energética das diferenças padronizadas de nível da sala e incertezas	49
Tabela 7 – Resultados dos cálculos da sala separada pelo hall para a fonte sonora 1	51
Tabela 8 – Resultados dos cálculos da sala separada pelo hall para a fonte sonora 2	52
Tabela 9 – Média energética das diferenças padronizadas de nível da sala separada pelo <i>hall</i> e incertezas.....	52
Tabela 10 – Resultados dos cálculos do quarto para a fonte sonora 1.....	54
Tabela 11 - Resultados dos cálculos do quarto para a fonte sonora 2.....	55
Tabela 12 – Média energética das diferenças padronizadas de nível do quarto.....	55
Tabela 13 – Dados do nível de pressão sonora da cozinha para fonte 1.....	71
Tabela 14 – Dados do nível de pressão sonora da cozinha para fonte 2.....	71
Tabela 15 – Dados do tempo de reverberação da cozinha para fonte 1.....	72
Tabela 16 – Dados do tempo de reverberação da cozinha para fonte 2.....	73
Tabela 17 – Dados do nível de pressão sonora da sala para fonte 1	75
Tabela 18 – Dados do nível de pressão sonora da sala para fonte 2	75
Tabela 19 – Dados do tempo de reverberação da sala para fonte 1.....	76
Tabela 20 - Dados do tempo de reverberação da sala para fonte 2	77
Tabela 21 – Dados do nível de pressão sonora da sala separada pelo <i>hall</i> para fonte 1	79
Tabela 22 – Dados do nível de pressão sonora da sala separada pelo <i>hall</i> para fonte 2	79
Tabela 23 – Dados do tempo de reverberação da sala separada pelo <i>hall</i> para fonte 1	80
Tabela 24 - Dados do tempo de reverberação da sala separada pelo <i>hall</i> para fonte 2	81
Tabela 25 – Dados do nível de pressão sonora do quarto para fonte 1	83
Tabela 26 – Dados do nível de pressão sonora do quarto para fonte 2.....	83
Tabela 27 – Dados do tempo de reverberação do quarto para fonte 1	84
Tabela 28 - Dados do tempo de reverberação do quarto para fonte 2.....	85
Tabela 29 – Valores de referência para curva padrão	87
Tabela 30 – Dados de ruído de fundo dos ambientes.....	90
Tabela 31 – Grau de confiança <i>GC</i> associados ao fator de expansão <i>k</i>	92

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o conceito de desempenho acústico nas edificações está se tornando cada vez mais importante. A poluição sonora é vista como um grande incômodo para a população, sobretudo quando produzida por habitações vizinhas (SCHERER *et al.*, 2019). Diante do crescimento populacional em que a sociedade está submetida, observa-se a criação de um processo de verticalização urbana, isto é, um aproveitamento do espaço através da multiplicação do solo em mais unidades habitacionais (OLIVEIRA, 2012). Com isso, devido à proximidade das residências, os ruídos gerados se tornam mais perceptíveis pela vizinhança.

Outra questão a ser destacada frente ao cenário ocasionado pela COVID-19 é a intensificação do teletrabalho, *home office*, exigindo os trabalhadores se adaptarem ainda mais ao ambiente de trabalho (LOSEKANN; MOURÃO, 2020). Com isso, os tradicionais locais de trabalho nas empresas foram substituídos por cômodos da própria residência do funcionário, que muitas vezes não eram apropriados para tal, por questão de conforto e, principalmente, pelo isolamento acústico do local, diminuindo sua produtividade.

Segundo Levy-Leboyer e Naturel (1991), os ruídos mais incômodos são aqueles julgados como não normais, passíveis de evitar e são descritos como altos. A fim de proporcionar um melhor bem-estar aos indivíduos, deve-se propor meios de isolamento acústico entre unidades habitacionais distintas (NETO; BERTOLI, 2010) visando minimizar a transmissão de ruídos aéreo. Para auxiliar nesse processo, tem-se como base a norma brasileira de desempenho (ABNT, 2021) NBR 15575, redigida segundo modelos internacionais, objetivando a melhora na qualidade dos sistemas habitacionais brasileiros. A norma estabelece o conceito de desempenho por meio da definição de requisitos, critérios e métodos de avaliação, objetivando a mensuração clara do seu cumprimento (CARVALHO *et al.*, 2020).

Apesar da norma estar vigente desde 2013, o setor da construção civil ainda está em um processo lento de adequação devido à baixa fiscalização do poder público, levando muitas edificações a deixarem de ser auditadas e, portanto, abrindo espaço para que as empresas deixem de cumprir com as exigências normativas (CARVALHO *et al.*, 2020). Entretanto, obras financiadas pelo governo como o Programa Casa Verde e Amarela (PCVA) – programa do Governo Federal lançado em 2020 com o objetivo de facilitar o acesso à moradia para a população (CAIXA

ECONÔMICA FEDERAL - CEF) –, possuem auditorias com fiscais da Caixa Econômica Federal mensalmente.

Para edificações do programa, a CEF exige algumas documentações para que o financiamento seja aprovado, entre elas o certificado de qualificação da construtora no Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), certificação que visa padronizar a construção civil, com base na ISO 9001, de acordo com a adequação às normas técnicas, além de servir como ferramenta de gestão para a empresa (VIEIRA; NETO, 2019). Após sua atualização em 2015, para que as empresas do setor da construção civil alcancem a certificação, elas devem incluir nos seus sistemas de gestão da qualidade procedimentos que atendam a norma de desempenho (OLIVEIRA, 2017).

O tema em estudo no presente trabalho limitou-se a avaliar o isolamento acústico em um conjunto habitacional inserido no PCVA no município de Guarapuava-PR. Justifica-se a pesquisa pela necessidade de maiores cuidados no planejamento de um conjunto habitacional devido à proximidade que as unidades se encontram do emissor dos ruídos, causando impactos significativos no bem-estar dos moradores, assim como em seu desempenho para atividades de *home office*, formato de trabalho que é bastante exigido em períodos de pandemia como o atual cenário mundial.

Utley e Buller (1988) afirmam que na Inglaterra, o ruído da vizinhança, como música alta, conversa, risada e latido de cães, é a fonte de ruído que mais causa incômodo, representando 2/3 do total de reclamações aos órgãos competentes. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), as pessoas que se encontram expostas constantemente a níveis elevados de ruído ambiental têm maior probabilidade de desenvolver doenças cardiovasculares (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). Portanto, a poluição sonora não deve ser tratada apenas como um incômodo, mas principalmente como uma ameaça à saúde pública, tratando o fato com sua real importância.

A escolha da cidade de Guarapuava-PR para a aplicação do estudo de caso justifica-se por meio do crescimento do setor da construção civil no local. A região obteve um aumento de 15% nas emissões de ARTs (Anotação de Responsabilidade Técnica) entre os anos 2017 e 2019, além do município ter registrado o maior crescimento em fiscalizações de obras no estado (GUARAPUAVA, 2020), se consolidando então como polo de investimentos no setor.

2 OBJETIVOS

Os objetivos principal e secundários deste trabalho estão apresentados nos próximos itens.

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O presente estudo tem como objetivo principal analisar o desempenho acústico em um conjunto habitacional do Programa Casa Verde e Amarela entre cômodos geminados¹ de unidades habitacionais distintas.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- Analisar a estruturação da edificação em estudo, caracterizando os sistemas de vedação utilizados;
- Classificar a edificação com relação ao conforto acústico do ambiente, com base nos parâmetros normativos.

¹ Cômodos geminados são definidos por ambientes unidos entre si, dividindo uma ou mais paredes (TERRA, 2020).

3 PROPRIEDADES FÍSICAS DA ACÚSTICA

3.1 SOM E RUÍDO

O som é a sensação produzida no sistema auditivo e ruído é um som indesejável, em geral de conotação negativa (BISTAFA, 2018). O som é o resultado de uma perturbação física ou de uma vibração (onda mecânica) provocada por uma variação de pressão em relação à pressão atmosférica (RIGHI, 2013).

Para que as vibrações geradas em um ambiente sejam percebidas pelo ouvido humano em outro, separados por uma parede (superfície de vedação vertical), esta superfície deve ser um meio vibrante, por menor que seja a vibração sofrida (SOUZA *et al.*, 2012). Além disso, é necessário que a variação da pressão se encontre dentro do limiar da audição. A menor variação de pressão ambiental detectável pelo sistema auditivo é da ordem de 2×10^{-5} Pa (BISTAFA, 2018). A faixa de frequência captável pelo ouvido humano é de 20 a 20.000 Hz (MELLO, 1999).

O ruído possui algumas classificações que estão detalhadas nos tópicos seguintes.

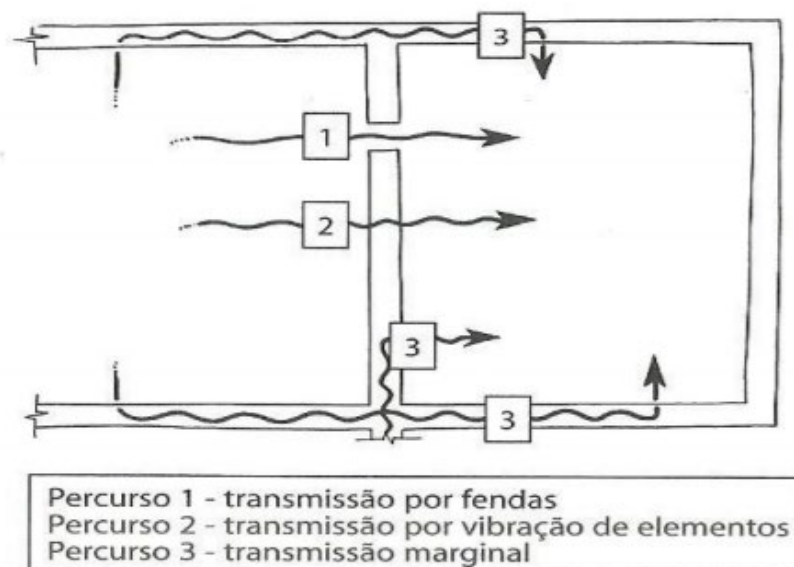
3.1.1 Ruído Aéreo

Os ruídos existentes em uma edificação podem ser decorrentes de atividades externas ou internas. O ruído aéreo está relacionado com o som gerado por diversos tipos de emissores transmitido através do ar, como automóveis, sons de animais, voz humana, música, entre outros, e se propaga no ar ou nos elementos da edificação (REZENDE *et al.*, 2014).

Segundo Ballou (2008), menor será a percepção de um ruído no ambiente vizinho quanto maior for a massa da divisória entre eles, visto que quanto maior a massa do elemento, menos ele vibrará. Já Souza *et al.* (2012) ressalva que a importância da massa do material varia de acordo com a frequência sonora, pois os sons de baixa frequência são mais difíceis de serem isolados e o aumento da massa das barreiras é menos eficiente.

Os principais elementos de transmissão dos ruídos são: janelas, portas, paredes, pisos, tetos, frestas ou fendas existentes nas superfícies do ambiente (SOUZA *et al.*, 2012). A Figura 1 representa os percursos possíveis, sendo o Percurso 1 a transmissão pelas fendas do ambiente, Percurso 2 a transmissão direta pelos elementos construtivos e o Percurso 3 a transmissão indireta por elementos adjacentes. Portanto, deve-se atentar na escolha do método construtivo adotado na edificação para que se atinja uma boa isolação a ruídos aéreos.

Figura 1 – Meios de transmissão do ruído aéreo



Fonte: SOUZA *et al.*, 2012

3.1.2 Ruído de Impacto

O ruído de impacto é definido como uma vibração que é irradiada pelas estruturas e se propaga entre os materiais, como móveis arrastando, queda de objetos, barulho de passos sobre o piso, entre outros (MONACO *et al.*, 2018).

Carvalho (2006) define o ruído de impacto como um ruído que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 (um) segundo, a intervalos superiores a 1 (um) segundo. Carvalho (2006) também destaca que um impacto sobre uma laje de piso de um edifício promove, além do ruído decorrente da sua vibração, excitação do sistema estrutural do edifício e de suas paredes, gerando fontes secundárias de ruído.

3.1.3 Ruído de Fundo

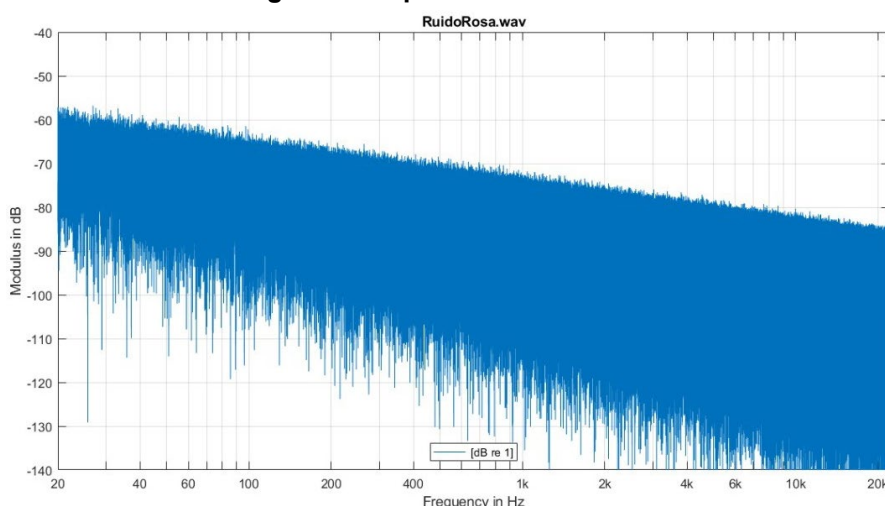
Este tipo de ruído, também conhecido como ruído residual, é produzido no interior de determinado ambiente decorrente de atividades nele mesmo desenvolvidas, geralmente (REZENDE *et al.*, 2014).

Como não é o foco do estudo excluir por completo o ruído, visto que situações de total silêncio só são agradáveis quando o ambiente exige tal condição, como em estúdios e câmaras acústicas, esse tipo de ruído não será profundamente abordado no decorrer da pesquisa. Para ambientes mais comuns, como é o foco do trabalho, o ideal é que apenas se reduza a intensidade sonora transmitida para dentro dos ambientes, sem extinção total do ruído residual (SOUZA *et al.*, 2012).

3.1.4 Ruído Rosa

O ruído rosa é representado pelo espectro² da Figura 2, sendo que seu nível sonoro decai em 3 dB por oitava. Esse ruído possui características similares ao de alguns equipamentos, como uma televisão fora de sintonia, e é indicado para análises de sistemas acústicos, pois garante uma energia constante por oitava, podendo realizar comparações dos resultados obtidos com bandas diferentes (BISTAFA, 2018).

Figura 2 - Espectro do ruído rosa



Fonte: Autoria Própria

² Representa a faixa de frequência em que o ruído está inserido (OTTONI *et al.*, 2012).

3.2 ONDAS SONORAS

As ondas são pulsos energéticos que se propagam através de um meio, sendo ele líquido, sólido ou gasoso (KINSLER *et al.*, 1982). Podem ser classificadas como unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais, sendo a última correspondente à classe das ondas sonoras (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

3.3 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

A pressão do som corresponde à variação da pressão ambiente de um meio elástico entorno do seu ponto de equilíbrio. Estas variações de pressão são percebidas pelo ouvido humano em níveis bastante baixos, cerca de 20 μPa (FILHO, 2014).

A fim de se utilizar uma unidade de medida padrão e de fácil compreensão, visto que o ouvido humano responde de forma logarítmica a uma excitação, têm-se o decibel (dB).

Segundo a ABNT (2014), disposto na NBR 16313, o nível de pressão sonora pode ser definido conforme a Equação 1.

$$L_{Zeq} = 10 \times \log \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

L_{Zeq} é o nível de pressão sonora contínuo equivalente, em decibel (dB);

p é a pressão sonora, expressa em Pascal (Pa);

p_0 é a pressão sonora de referência (usualmente adotado $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$).

3.4 NÍVEL DE INTENSIDADE SONORA

Segundo Souza *et al.* (2012), a intensidade sonora é uma quantidade de energia vibratória a partir da fonte emissora, expressa em termos de energia. Sua determinação pode ser feita através da Equação 2 (NBR 16313:2014).

$$NIS = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Equação 2

Onde:

NIS é o nível de intensidade sonora, expresso em decibel (dB);

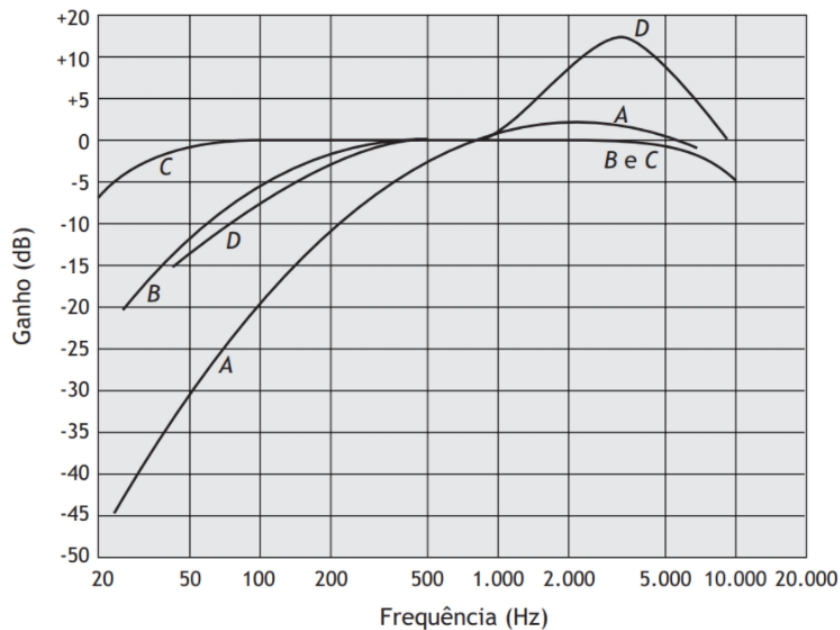
I é a intensidade sonora, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

I_0 é a intensidade sonora de referência ($I_0 = 10^{-12} W/m^2$).

3.5 FREQUÊNCIA

Frequência é o número de vibrações completas em um segundo, sendo sua unidade de medida o Hertz (Hz). Segundo Beranek e Mellow (2019), o ouvido humano não é igualmente sensível ao som em frequências muito baixas e muito altas. Portanto, foram criadas as curvas de ponderação, conforme Figura 3.

Figura 3 – Curvas de ponderação



Fonte: BISTAFA, 2018

O filtro ponderador A se aproxima do sistema auditivo humano para sons com níveis sonoros moderados, como as atividades do cotidiano. Portanto, é o filtro mais utilizado e recomendado para medições de ruído (BISTAFA, 2018).

3.6 DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL

Segundo a ABNT (2021), disposto na NBR 15575, é recomendado adotar os seguintes parâmetros ponderados para as medições em campo: a Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{nT,w}$) e a Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$). Ambos estão explicados nos tópicos seguintes.

3.6.1 Diferença Padronizada de Nível Ponderada

A $D_{nT,w}$ é um parâmetro obtido em medições de campo de vedações verticais e horizontais internas das edificações (PENEDO; OITICICA, 2014), que representa o ruído aéreo percebido entre unidades que compartilham uma mesma vedação vertical (ARAÚJO, 2018). A ABNT (2021) NBR 15575-4 traz valores mínimos entre ambientes que devem ser respeitados, conforme Quadro 1, considerando o nível de desempenho “M” como mínimo, “I” como intermediário e “S” como superior.

Quadro 1 – Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes para ensaio de campo

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho
Parede entre 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 unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 55	I
	≥ 55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i>	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

Fonte: NBR15575-4, 2021 (adaptado)

3.6.2 Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de Distância da Fachada

Já a $D_{2m,nT,w}$ refere-se às medições em campo de partições de fachadas de dormitórios em edificações e de fachadas e coberturas de dormitórios em casas térreas e em sobrados (PENEDO; OITICICA, 2014). A ABNT (2021), disposto na NBR 15575-4, apresenta a classificação de desempenho, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa

Classe de Ruído	Localização da Habitação	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Fonte: NBR15575-4, 2021

3.7 ISOLAMENTO SONORO

Isolamento sonoro refere-se à redução do som entre dois ambientes, proporcionado através do elemento construtivo empregado (NETO, 2009). Segundo a ABNT (2018), na NBR 16283-1, o isolamento a ruído aéreo pode ser convertido em uma classificação de valor único para caracterizar seu desempenho acústico.

3.8 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Outro importante parâmetro acústico é o tempo de reverberação (T_{60}) que, segundo a ABNT (2014), orientado na NBR 16313, corresponde ao tempo decorrido para que o nível de pressão sonora em um ambiente interno de uma edificação decaia 60 dB após a emissão sonora, utilizado como um indicador de qualidade acústica.

4 OS RUÍDOS E SEUS IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA

Segundo Bistafa (2018), embora o incômodo do ruído seja subjetivo e de difícil definição, existem alguns parâmetros físicos que contribuem para essa sensação, como: tempo de exposição ao ruído, intensidade, amplitude e frequência.

Os efeitos causados pela exposição exagerada ao som não se limitam apenas a problemas auditivos, causam também efeitos físicos e psicológicos. Quanto aos aspectos físicos, podem ser destacados a perda auditiva, dependendo dos casos até mesmo surdez permanente, dores de cabeça, fadiga, distúrbios cardiovasculares e hormonais, gastrites, disfunções digestivas, alergias, entre outros. Já aos aspectos psicológicos, têm-se a perda de concentração e de reflexos, irritação, dificuldade para dormir, síndromes, entre outros (SOUZA *et al.*, 2012). O Quadro 3 apresenta alguns efeitos negativos causados pela exposição ao ruído.

Quadro 3 - Efeitos causados pelo ruído

Nível de Pressão Sonora (NPS)	Efeito Negativo
100 dB(A)	Pode haver perda de audição
80 dB(A)	Ocorre a liberação de endorfinas, causando uma sensação de prazer momentâneo
70 dB(A)	Nível inicial do desgaste do organismo, aumentando o risco de infarto, derrame cerebral, infecções e outras patologias
A partir de 55 dB(A)	Pode haver a ocorrência de estresse leve acompanhado de desconforto
Até 50 dB(A)	O ruído pode perturbar, mas o organismo se adapta facilmente a ele

Fonte: FILHO, 2014

Segundo Pawlaczyk-Łuszczynka *et al.* (2005), a exposição dos indivíduos à níveis moderados de ruídos de baixa frequência (LFN – Low Frequency Noise) pode prejudicar, principalmente, funções visuais e de concentração. Os ruídos de baixa frequência estão situados na faixa de 10 a 125 e suas ondas, por se propagarem melhor e possuírem melhor difração, são as que possuem maior representatividade na ausência de um conforto acústico.

Além disso, a desvalorização de imóveis localizados em regiões de ruído intenso também é uma realidade. Em Belo Horizonte - MG, imóveis residenciais em áreas barulhentas sofreram desvalorização média de 20% em 2019 (ABECIP, 2019).

Portanto, é necessário que os construtores levem em consideração o conforto acústico ao se projetar edificações, investindo em soluções de isolamento acústico em suas edificações e aumentando, conseqüentemente, a atratividade de seu empreendimento.

Até mesmo as habitações isoladas sofrem com esse tipo de incômodo, pois eletrodomésticos, por mais modernos que sejam, ainda geram ruídos enquanto funcionam. Sendo assim, independentemente do tipo de ruído e sua procedência, ele gera incômodo e causa malefícios à saúde, sendo um fato inquestionável, largamente estudado e comprovado cientificamente (CARVALHO, 2006).

5 ISOLAMENTO AO RUÍDO AÉREO

Discutido sobre os impactos causados pela exposição ao ruído, faz-se necessário estudar formas de se controlar os mesmos. Deve-se inicialmente analisar a tipologia do ambiente para se determinar qual a necessidade de isolamento. Por exemplo, um quarto pede um isolamento quanto a ruído aéreo maior do que uma cozinha, conforme apresentado pelo Quadro 1.

O isolamento sonoro, segundo Luca (2015), pode ser realizado de duas maneiras: utilizando estruturas feitas com materiais de alta densidade (Lei das Massas) e utilizando o sistema construtivo Massa-Mola-Massa.

5.1 LEI DAS MASSAS

A Lei das Massas é utilizada na falta de informações precisas sobre os índices de isolamento acústico de determinado material, obtida originalmente de forma empírica. Segundo ela, o isolamento característico de uma parede está ligado à sua massa, sendo que a duplicação da massa de um material implica em um acréscimo de 6 dB de isolamento da superfície (CARVALHO, 2006).

O parâmetro utilizado para determinar o isolamento de uma parede é a perda de transmissão (PT), expresso pela Equação 3:

$$PT = 20 \log(f \times M) - 47 \text{ dB} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

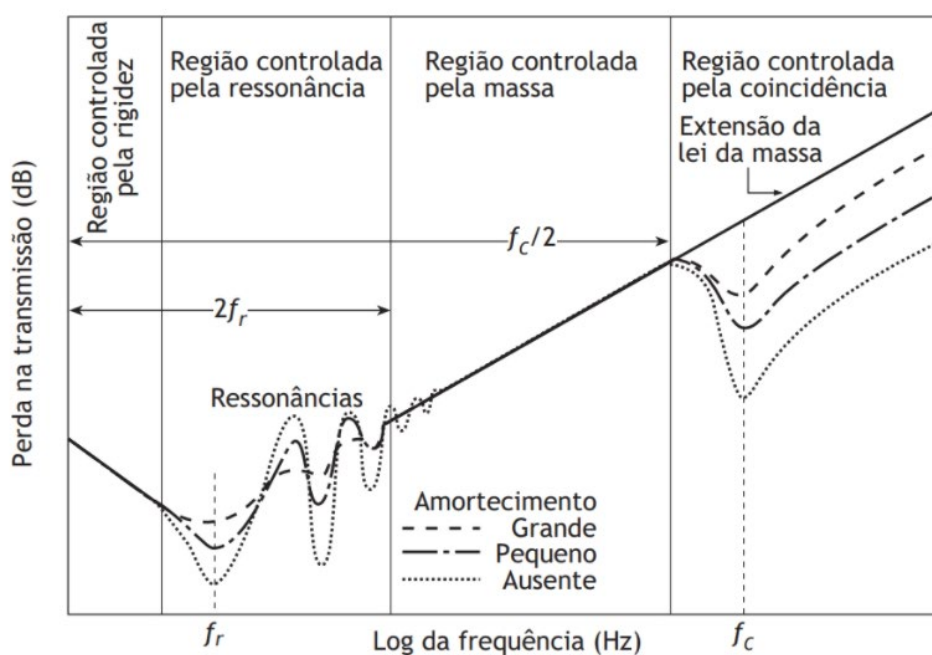
f é a frequência do som incidente (Hz);

M é a densidade superficial da parede (kg/m^2).

Bistafa (2018) ressalta que a Equação 3 admite $f \times M > \rho c$, sendo ρc a impedância³ característica do meio de propagação. Além disso, a equação não é válida para frequências inferiores a $2f_r$ e superiores a $f_c/2$, conforme ilustrado pela Figura 4.

³ A impedância é matematicamente definida pelo produto da densidade específica do meio pela velocidade de propagação do som no meio analisado (LOSSO E VIVEIROS, 2004).

Figura 4 - Curva típica de perda na transmissão em função da frequência do som incidente



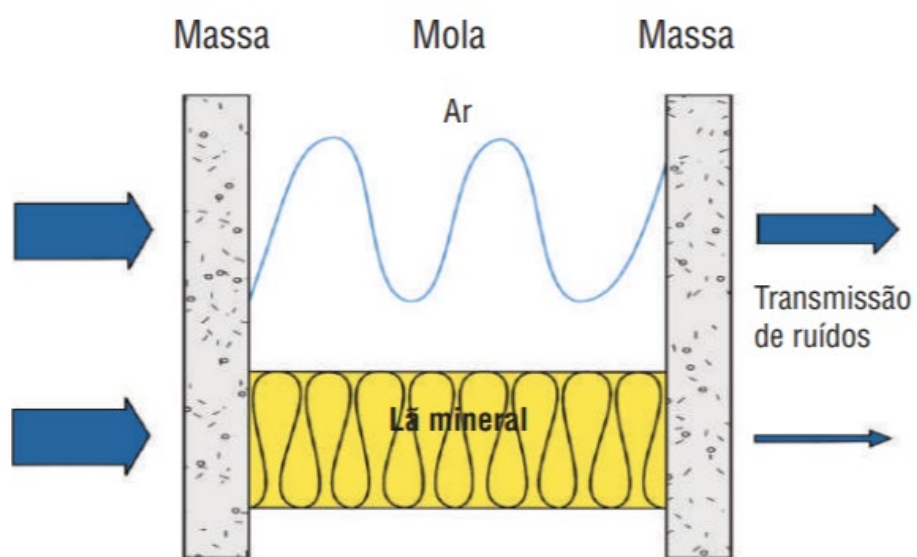
Fonte: Bistafa, 2018

5.2 SISTEMAS MASSA-MOLA-MASSA

Este sistema caracteriza-se por uma camada de massa, como gesso por exemplo, um “colchão” de ar ou material com propriedade de amortecer e absorver a onda sonora (mola), quebrando sua intensidade, e outra camada de massa. A eficiência do sistema ocorre devido à presença de uma fricção entre a onda sonora e o material de preenchimento, transformando parte da energia sonora em calor, consequentemente reduzindo sua intensidade (LUCA, 2015).

Gerar espaços vazios no interior de um sistema ou ainda preencher o espaço com um material com propriedade de absorção são aspectos relevantes ao se tratar de isolamento acústico, conforme representado pela Figura 5. Um sistema composto de uma câmara de ar é capaz de isolar de 3 a 5 dB a mais do que um sistema convencional, já um sistema com material absorvente pode isolar de 6 a 9 dB. Sabe-se também que, quanto maior for a massa da mola (ar ou material absorvente), maior será sua capacidade de isolamento acústico, e quanto maior for o afastamento entre as placas externas (massa-massa), melhor será seu isolamento quanto às baixas frequências (CARVALHO, 2006).

Figura 5 - Eficiência do sistema Massa-Mola-Massa



Fonte: LUCA, 2015

6 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

6.1 ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO

A alvenaria é um sistema construtivo amplamente utilizado na construção civil brasileira devido à sua facilidade de execução, custo e desempenho. No processo executivo podem ser utilizados blocos maciços ou blocos vazados, também conhecido como alvenaria racionalizada (KERBER *et al.*, 2019). Esse método visa promover uma maior sustentabilidade e eficiência durante a execução das edificações, utilizando blocos de melhor qualidade, com furos na vertical que facilitam a passagem das instalações, blocos de diferentes modulações para evitar sua quebra durante a execução, redução de desperdícios e um local de trabalho mais limpo e organizado (ZAMPIERI; NAVES, 2016).

Apesar disso, esse sistema construtivo apresenta limitações quanto ao atendimento dos requisitos da norma brasileira de desempenho acústico. As cavidades internas do material reduzem sua densidade bruta, diminuindo também seu isolamento sonoro.

Segundo testes realizados por Neto (2009), as paredes com bloco de concreto apresentam melhor desempenho acústico do que as paredes de bloco cerâmico, o que já era esperado devido a densidade superficial do concreto ser maior.

Além da massa do material e a densidade da argamassa utilizada para o assentamento, o cuidado com o fechamento completo das frestas durante a execução também interfere significativamente no resultado do desempenho da edificação (NETO, 2009). Portanto, deve-se aumentar o acompanhamento executivo das vedações dos ambientes mais criteriosos, como os quartos, para que todas as frestas sejam bem fechadas e se atentar quanto à qualidade dos materiais utilizados, como argamassas mais densas.

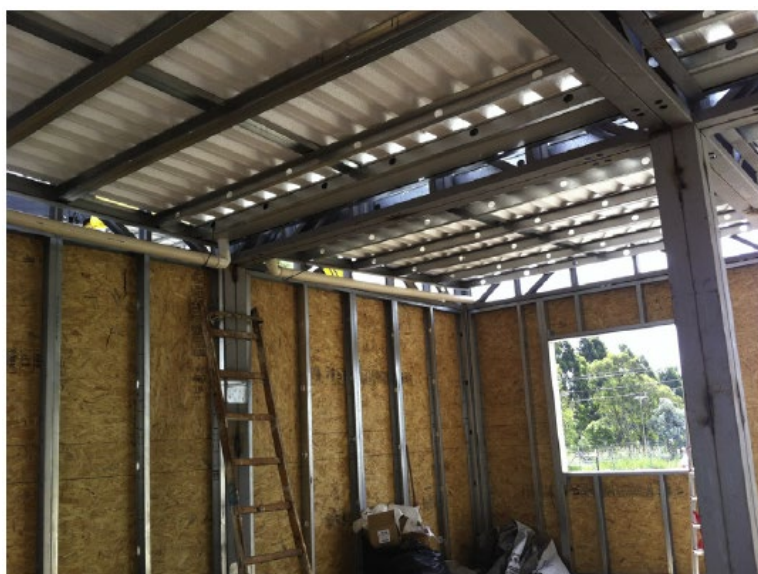
6.2 CONSTRUÇÃO MODULAR E *STEEL FRAMING*

Uma forma de minimizar a influência da poluição sonora é através do isolamento acústico das unidades habitacionais, utilizando técnicas construtivas com níveis de desempenho acústico correlacionados à finalidade de cada ambiente. Também, cada vez mais vêm se tornando importante que os materiais da construção civil sejam sustentáveis (MATOSKI; RIBEIRO, 2016).

Com relação ao que foi pressuposto no parágrafo anterior, têm-se a construção modular, ou seja, uma construção por módulos, sendo este um componente ou unidade independente que possibilita a padronização e variação de função (ESPÍNDOLA, 2010). Suas características estão relacionadas com a agilidade da construção, qualidade do serviço, redução de desperdícios e flexibilização dos projetos.

O *Steel Framing* trata-se de um dos sistemas modulares mais utilizados, constituído de perfis de aço galvanizado formados a frio, conforme ilustrado pela Figura 6. Os sistemas de vedações verticais industrializados já são largamente utilizados pelo mundo, principalmente em países como os EUA, Austrália e Japão, mas ainda são pouco utilizados nas habitações brasileiras (NOGUEIRA; CALLEJAS; DURANTE, 2018).

Figura 6 - Estrutura residencial em *steel framing*



Fonte: MATOSKI; RIBEIRO, 2016

Segundo uma pesquisa feita por Campos (2010), algumas reclamações quanto à acústica desse tipo de sistema ocorreram, principalmente relacionadas ao isolamento entre pisos e ruídos noturnos devido à dilatação térmica do material.

Segundo Matoski (2016, apud NETO, 2009), os blocos cerâmicos mostraram níveis de isolamento sonoro mais baixos do que aos edifícios modulares. Já uma parede de bloco de concreto apresenta valores de isolamento maiores do que a de edifícios sustentáveis, o que ocorre devido a sua densidade. Em contrapartida, pode apresentar maior custo, o tempo para sua execução é maior e gera mais resíduos.

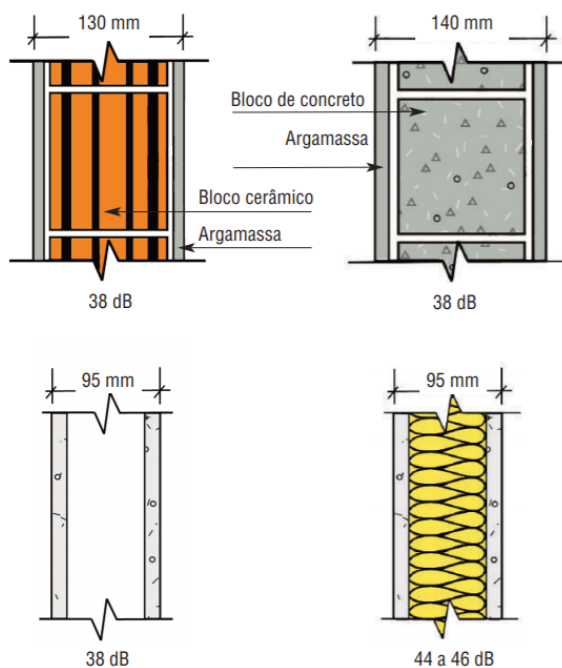
6.3 DRYWALL

Atualmente, existe uma contínua busca por materiais de alto desempenho, com propriedades diversas e que, ao mesmo tempo, possuam baixo custo de implantação, manuseio e que sejam de rápida instalação. Com isso, um material que está conquistando o mercado da construção civil é o gesso acartonado, *drywall* (LOSSO; VIVEIROS, 2004).

Esse sistema construtivo é composto por uma chapa de gesso, uma camada de ar ou de material absorvente e outra chapa de gesso, se enquadrando no sistema Massa-Mola-Massa. É um método muito eficiente quanto ao isolamento sonoro devido à fricção entre a onda sonora e a camada interna do material, podendo ser o próprio ar ou um material fibroso como a lã mineral. Esta fricção converte a energia sonora em calor, diminuindo sua intensidade (LUCA, 2015).

Luca (2015) comparou o desempenho desse sistema com paredes de alvenaria convencional, com os resultados apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Comparativo entre o desempenho acústico de alvenaria e *drywall*



Fonte: LUCA, 2015

Observa-se que, para absorver uma mesma quantidade de ruído sonoro do que uma parede de bloco cerâmico, o sistema construtivo *drywall* necessita de uma parede de menor espessura (95 mm contra 130 mm), sendo sua camada interna composta apenas por ar. Contudo, se for utilizado lã mineral, seu desempenho acústico pode ser ainda superior, apesar de ser um material mais leve.

7 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho refere-se a uma pesquisa aplicada, segundo Fellows e Liu (2015), pois foram aplicados conceitos de desempenho acústico de modo a obter parâmetros de desempenho, sem que haja contribuição para a base teórica existente.

Geralmente uma pesquisa, especialmente a pesquisa aplicada, envolve a solução de um problema, que neste caso é o desempenho acústico de uma residência inserida em um conjunto habitacional na cidade de Guarapuava-PR, contida no Programa Casa Verde e Amarela.

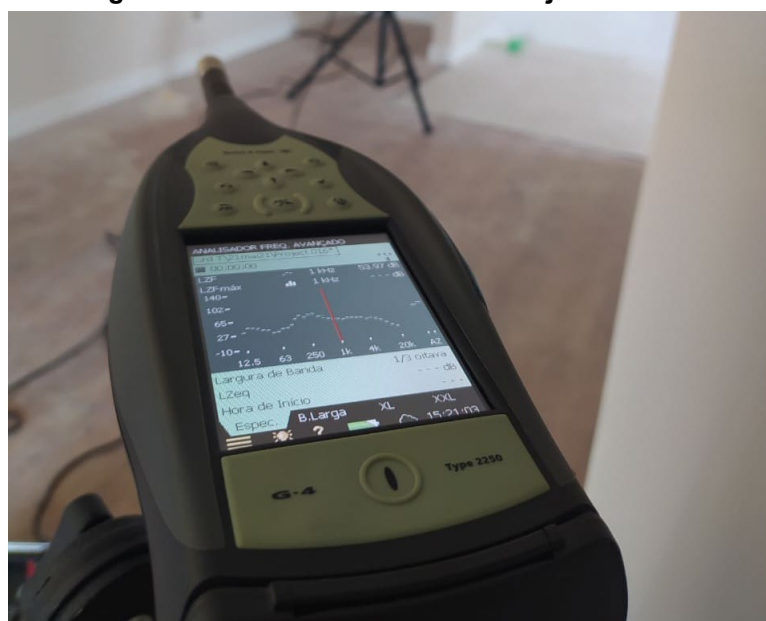
O texto adiante tem o objetivo de esclarecer os procedimentos que foram necessários para a avaliação do desempenho acústico da edificação.

7.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram:

- Código R, comando em linguagem computacional, gerando gráficos que se encontram no tópico 8 do trabalho;
- Sonômetro Tipo 2250 da marca *Brüel & Kjær*, classe 1, conforme Figura 8, calibrado pelo Inmetro, conforme ANEXO A;

Figura 8 - Sonômetro 2250 *Brüel & Kjær* classe 1



Fonte: Autoria própria

- Microfone fixo capacitivo 1/2" modelo 4189 do fabricante *Brüel & Kjær*, conforme Figura 9;

Figura 9 – Microfone 1/2" 4189 *Brüel & Kjær*



Fonte: Autoria própria

- Calibrador de nível sonoro modelo 4231 do fabricante *Brüel & Kjær*, classe 1, conforme Figura 10, com certificado de calibração conforme ANEXO A;

Figura 10 – Calibrador 4231 *Brüel & Kjær* classe 1



Fonte: Autoria própria

- Amplificador modelo FA501 da marca *Hypex*, conforme Figura 11, com potência máxima de 650 W;

Figura 11 – Amplificador FA501 *Hypex*



Fonte: Autoria própria

- *Software Audacity* para emissão de ruído rosa durante as medições, com o espectro representado pela Figura 2;
- *Software Microsoft Excel* para compilar e analisar os dados obtidos.

7.2 MÉTODOS

As medições em campo tiveram como base o método de engenharia, orientado pelas normas ABNT (2021) na NBR 15575-4 e ABNT (2018) na NBR ISO 16283-1. Foram realizadas análises em quatro situações, por meio de medições *in situ* do nível de pressão sonora, do tempo de reverberação e do ruído de fundo.

O cômodo de maior área foi adotado como emissor, utilizando uma única fonte sonora em duas posições distintas, posicionada a pelo menos 1,0 m acima do piso,

0,5 m do limite do cômodo e 1,0 m quando o limite for a parede de divisa dos apartamentos geminados, medida a partir do eixo da fonte. A Figura 12 ilustra o posicionamento respeitado.

Figura 12 – Posicionamento dos equipamentos de medição



Fonte: Aatoria própria

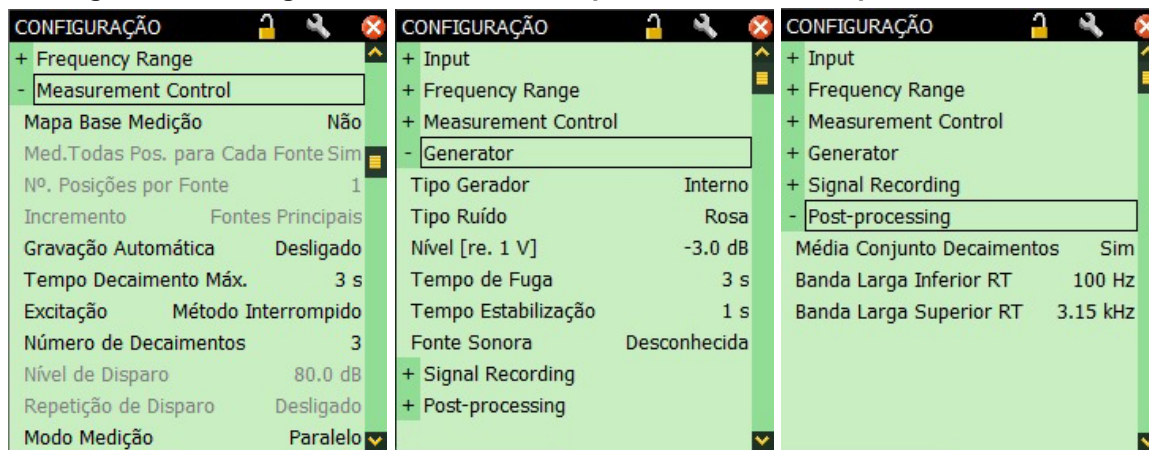
Para as medições de nível de pressão sonora, foram utilizadas cinco posições de microfone para cada posição de fonte, totalizando dez posições no cômodo de emissão e dez no de recepção, posicionadas a no mínimo 0,7 m entre si, 0,5 m dos limites do ambiente e 1,0 m da fonte. A duração de cada medição foi de 30 s.

Para as medições de tempo de reverberação no cômodo de recepção, foi utilizado o método de ruído interrompido⁴ com duas posições de fonte e seis posições de microfone para cada posição de fonte, totalizando doze medições. Ainda, em cada cômodo receptor realizou a medição do ruído de fundo. Os valores obtidos abaixo de 100 Hz e acima de 3150 Hz foram desconsiderados por serem apenas informativos,

⁴ Método utilizado para obter curvas de decaimento a partir de gravação direta do decaimento do nível de pressão sonora, ocorrido após excitação de uma sala com ruído de banda larga ou ruído limitado em bandas de frequência (BS EN ISO 354, 2003)

conforme orientação da BS (2013) EN ISO 717-1. A configuração adotada do sonômetro está representada na Figura 13.

Figura 13 – Configurações do sonômetro para medição de tempo de reverberação



Fonte: Autoria Própria

Os ensaios foram realizados em dias úteis e em horário comercial, com os ambientes desocupados, sem mobílias e com as portas e janelas fechadas durante toda a medição. As condições climáticas durante as medições estão apresentadas no ANEXO B.

Optou-se por não utilizar o procedimento de baixa frequência nos cômodos com volumes inferiores a 25 m³, pois a norma de desempenho se baseia apenas no descritor $D_{nT,w}$. Portanto esse procedimento seria apenas informativo e não iria interferir no resultado final.

Os cômodos analisados estão caracterizados no tópico seguinte.

7.2.1 Caracterização dos Ambientes

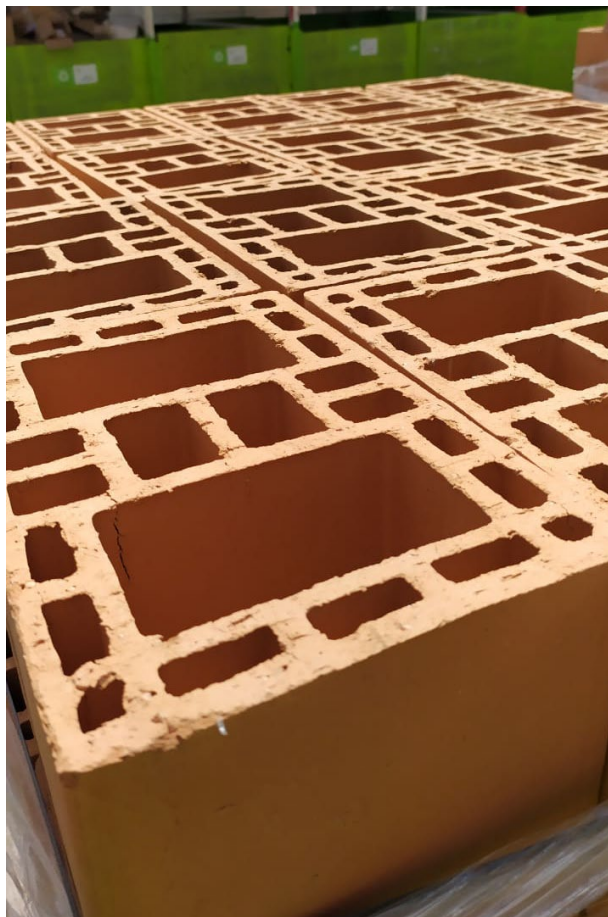
Os testes foram realizados em cômodos geminados de unidades habitacionais distintas, os quais possuem orientação normativa de desempenho acústico.

7.2.1.1 Cozinha

A análise foi realizada com a cozinha emissora de área de 4,05 m² e pé direito de 2,57 m e a cozinha receptora com área de 3,71 m² e o mesmo valor de pé direito.

Do ponto de vista construtivo, o ambiente é constituído por laje maciça em concreto e paredes externas da unidade habitacional em alvenaria racionalizada, com blocos de dimensões 14x19x29 cm, conforme Figura 14.

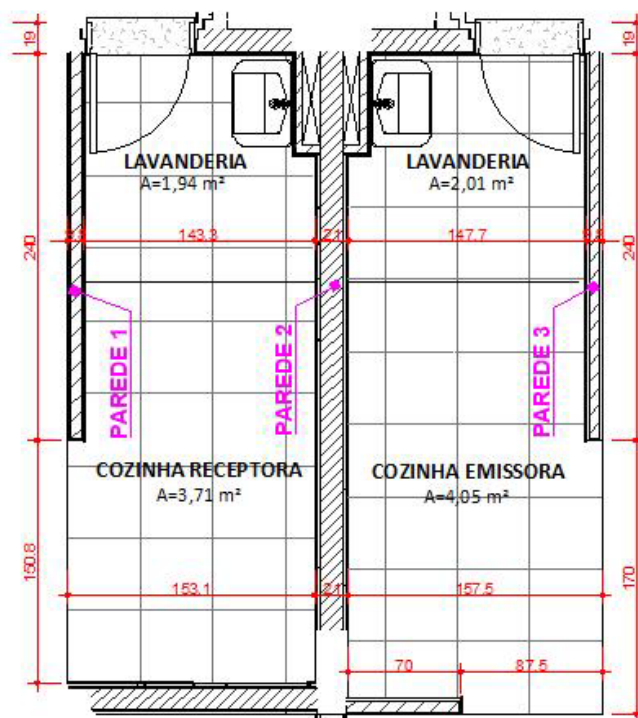
Figura 14 - Bloco utilizado para as divisórias externas das unidades habitacionais



Fonte: Autoria própria

A cozinha é um ambiente integrado com a lavanderia e possui uma repartição entre a sala em *drywall*, conforme identificação “Parede 1” e “Parede 3” na Figura 15. A parede identificada como “Parede 2” é composta pelo bloco da Figura 14 e possui revestimento cerâmico até 1,40 m do chão e o restante em argamassa, enquanto as demais paredes possuem revestimento apenas argamassado. O piso é revestido com cerâmica em sua totalidade.

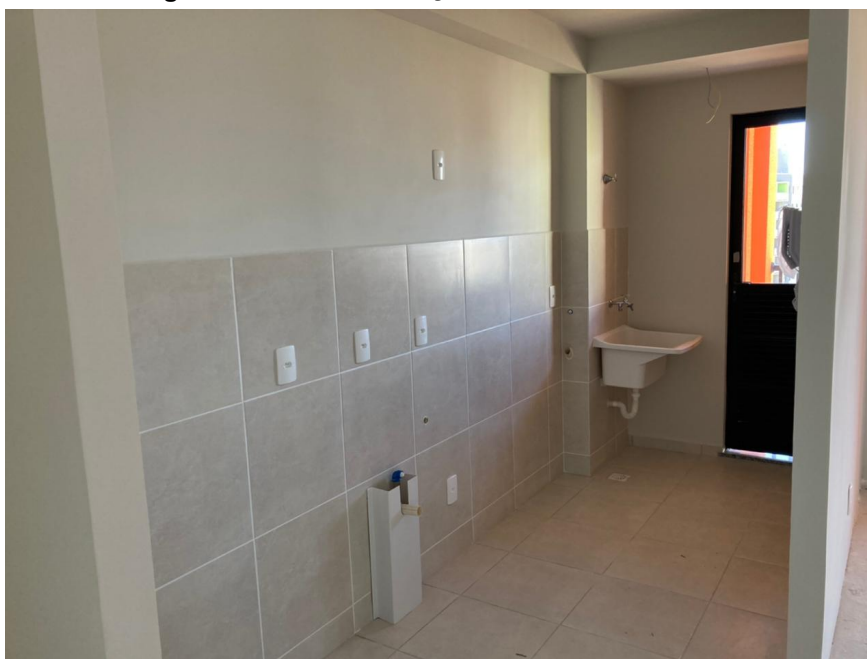
Figura 15 – Planta baixa das cozinhas geminadas analisadas



Fonte: Autoria própria

A cozinha não possui esquadrias e mobiliários, apenas o ambiente integrado da lavanderia detém de uma porta em alumínio e um tanque em PVC, conforme ilustra a Figura 16.

Figura 16 – Caracterização da cozinha emissora

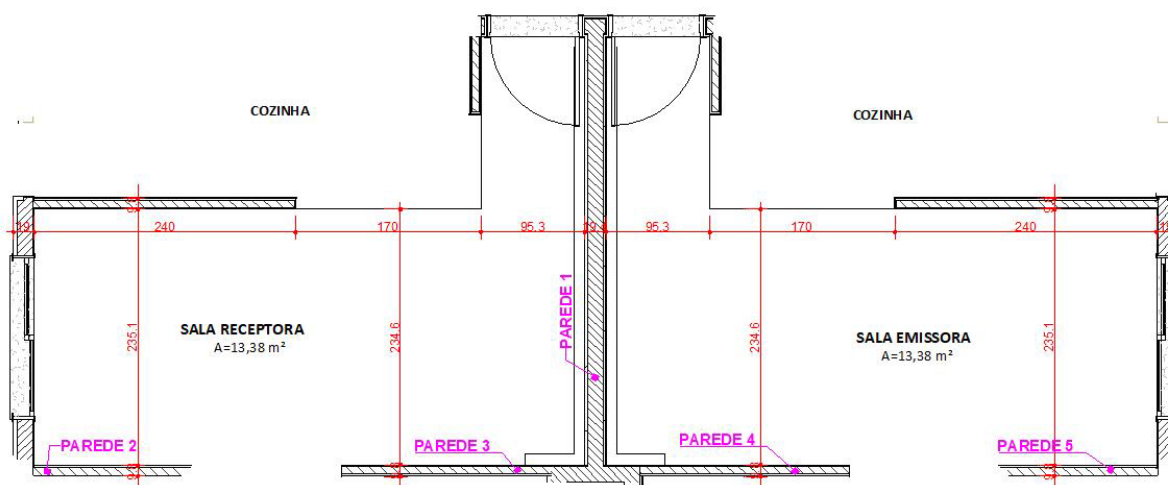


Fonte: Autoria própria

7.2.1.2 Sala

As salas emissora e receptora possuem a mesma área de 13,38 m² e pé direito de 2,57 m. Possuem laje maciça em concreto e paredes externas em alvenaria racionalizada, conforme denominação “Parede 1” na Figura 17. A sala possui, além da repartição com a cozinha, paredes em *drywall* que separam os quartos do ambiente, conforme “Parede 2”, “Parede 3” “Parede 4” e “Parede 5”.

Figura 17 – Planta baixa das salas geminadas analisadas



Fonte: Autoria própria

O piso não possui revestimento, sendo apenas o contrapiso aparente. As paredes da sala dispõem de revestimento em argamassa. O ambiente conta com uma porta de acesso em madeira e uma porta em alumínio com acesso à sacada, sem móveis no local. A Figura 18 representa o ambiente em que se realizou a medição com as características descritas.

Figura 18 – Caracterização da sala receptora

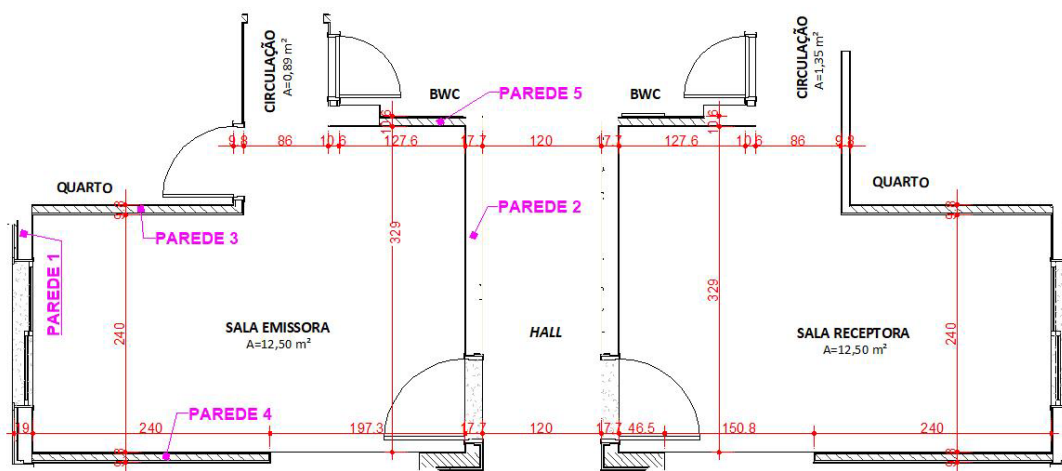


Fonte: Autoria própria

7.2.1.3 Sala separada pelo *hall*

As salas separadas pelo *hall* analisadas possuem mesma área de 12,50 m² e pé direito de 2,57 m. A planta baixa do ambiente está representada na Figura 19, sendo as denominações “Parede 1” e “Parede 2” compostas pelo bloco de alvenaria racionalizada e “Parede 3”, “Parede 4” e “Parede 5” em *drywall*.

Figura 19 - Planta baixa das salas separadas pelo *hall* analisadas



Fonte: Autoria própria

As características construtivas das salas são as mesmas do item 7.2.1.2, adicionando que o *hall* possui piso cerâmico e forro em gesso acartonado, conforme Figura 20.

Figura 20 – Caracterização do *hall* de circulação

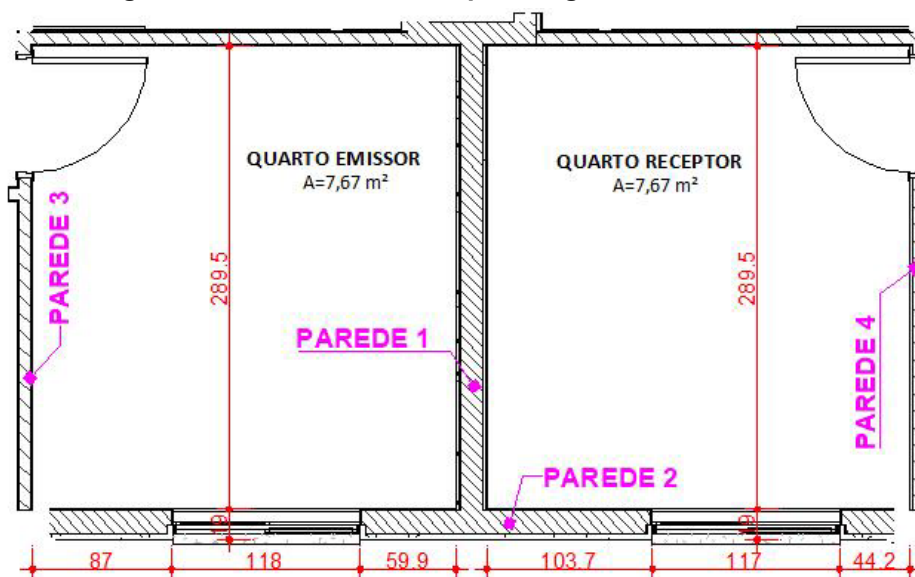


Fonte: Autoria própria

7.2.1.4 Quarto

Os quartos analisados possuem mesma área de 7,97 m² e pé direito de 2,57 m. O ambiente é constituído por laje maciça em concreto e paredes externas em alvenaria racionalizada, conforme Figura 14. No entanto, a parede geminada entre os cômodos, representada como “Parede 1” na Figura 21, possui tipologia de bloco cerâmico com maior densidade superficial, com dimensões de 14x19x29 cm, conforme a Figura 22. A parede da fachada, identificada como “Parede 2”, é composta por alvenaria racionalizada e as paredes de repartição com a sala, identificadas como “Parede 3” e “Parede 4”, de *drywall*.

Figura 21 - Planta baixa dos quartos geminados analisados



Fonte: Autoria própria

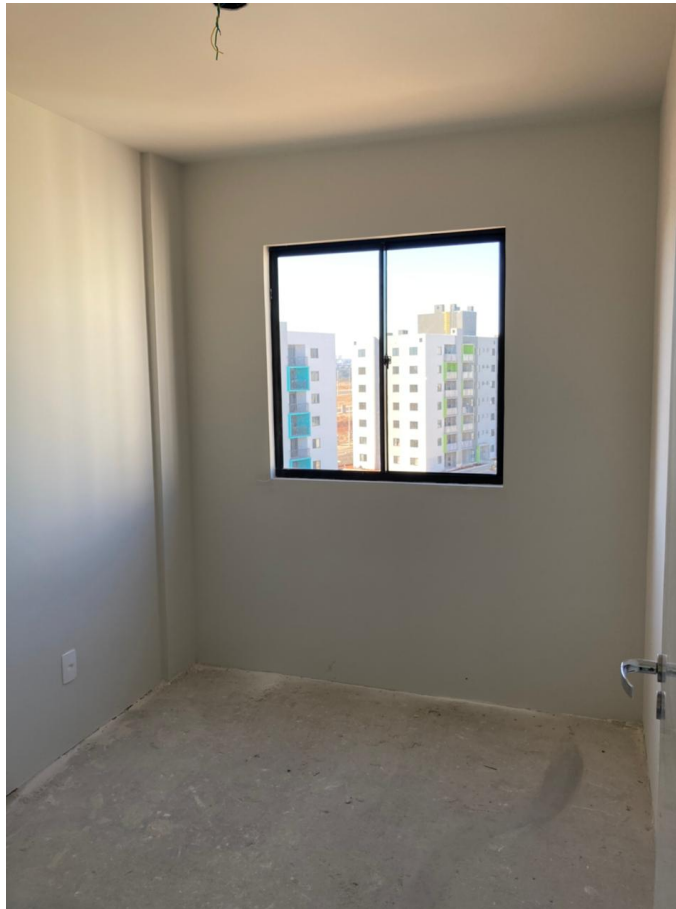
Figura 22 - Bloco utilizado para as divisórias de quartos geminados



Fonte: Autoria própria

O piso não possui revestimento, sendo apenas o contrapiso aparente, e as paredes dos quartos possuem revestimento em argamassa. O cômodo possui uma porta de acesso em madeira, uma janela em alumínio e não possui mobiliários, conforme ilustrado pela Figura 23.

Figura 23 - Caracterização do quarto receptor



Fonte: Autoria própria

7.2.2 Médias Energéticas do Procedimento-Padrão

Conforme o procedimento-padrão da norma ABNT (2018) NBR 16283-1, os resultados foram obtidos por meio das seguintes etapas de cálculo:

1. Transportar os dados do sonômetro para uma planilha;
2. Realizar uma média energética dos níveis de pressão sonora de cada medição, de 100 Hz a 3150 Hz, conforme Equação 4;

$$L_{ener} = 10 \times \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right) \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

L_{ener} é a média energética dos níveis de pressão sonora, em dB;
 L_1, L_2, \dots, L_n são os níveis de pressão sonora em n diferentes posições de microfone, em dB.

3. Realizar a média aritmética simples dos tempos de reverberação medidos, de 100 Hz a 3150 Hz, conforme Equação 5;

$$\overline{TR} = \frac{TR_1 + TR_2 + \dots + TR_n}{n} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

\overline{TR} é a média aritmética dos tempos de reverberação, em s;

TR_1, TR_2, \dots, TR_n são os tempos de reverberação medidos em campo, em s;

n são as diferentes posições de microfone.

4. Calcular a diferença padronizada de nível para cada medição de fonte sonora, conforme Equação 6;

$$D_{nT} = L_{ener,1} - L_{ener,2} + 10 \log \left(\frac{\overline{TR}}{T_0} \right) \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

D_{nT} é a diferença padronizada de nível, em dB;

$L_{ener,1}$ é a média energética dos níveis de pressão sonora no cômodo de emissão, em dB;

$L_{ener,2}$ é a média energética dos níveis de pressão sonora no cômodo de recepção, em dB;

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

5. Realizar uma média energética das diferenças padronizadas de nível, determinando $D_{nT,médio}$, em dB.

Após esses procedimentos, deve-se inserir os valores de $D_{nT,médio}$ no código R descrito no APÊNDICE E e processar o gráfico para obter o valor da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, em dB. Com isso, é possível comparar o desempenho acústico do cômodo analisado com o recomendado pela norma brasileira de desempenho.

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os tópicos a seguir apresentam os resultados e discussões referentes a cada cômodo da unidade habitacional em estudo.

8.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA COZINHA

Os dados coletados pelo sonômetro da medição da cozinha para as duas posições de fonte sonora estão apresentados por meio de tabelas no APÊNDICE A.

Com base nos métodos apresentados anteriormente, obteve-se a totalidade dos resultados apresentados nas Tabela 1 e Tabela 2 para a posição de fonte sonora 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Resultados dos cálculos da cozinha para a fonte sonora 1

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\bar{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	76,72	46,63	0,70	31,54
125	82,52	45,51	1,54	41,89
160	80,58	51,74	1,46	33,47
200	74,73	43,71	1,56	35,95
250	76,59	45,55	1,59	36,06
315	80,32	48,35	1,68	37,23
400	81,70	49,38	1,65	37,51
500	81,84	48,78	1,50	37,82
630	81,94	47,72	1,55	39,13
800	82,11	45,78	1,50	41,10
1000	80,92	44,12	1,53	41,66
1250	81,40	44,02	1,42	41,91
1600	79,18	40,59	1,43	43,16
2000	83,41	43,43	1,38	44,39
2500	86,43	47,04	1,27	43,45
3150	82,86	44,14	1,16	42,38

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 – Resultados dos cálculos da cozinha para a fonte sonora 2

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	77,49	45,17	0,64	33,36
125	81,79	43,63	1,25	42,13
160	79,21	44,76	1,02	37,55
200	70,21	39,75	1,60	35,52
250	74,26	44,18	1,67	35,32
315	79,31	48,41	1,76	36,35
400	81,09	47,80	1,61	38,37
500	80,35	47,82	1,60	37,57
630	80,89	44,92	1,59	40,98
800	80,57	43,99	1,55	41,49
1000	79,40	41,74	1,41	42,17
1250	79,83	41,22	1,49	43,35
1600	77,45	38,09	1,46	44,00
2000	81,77	40,72	1,46	45,70
2500	84,44	43,95	1,27	44,54
3150	80,95	41,31	1,16	43,31

Fonte: Autoria própria

Os valores das médias energéticas das diferenças padronizadas de nível estão apresentados na Tabela 3. A norma BS (2014) EN ISO 12999-1 orienta que seja considerada, nos cálculos, as incertezas das medições realizadas para ambientes com volume superior a 25 m³. Como o volume da cozinha é inferior, não é necessário ponderar as incertezas, sendo os valores medidos representativos para análise do mesmo.

Tabela 3 – Média energética das diferenças padronizadas de nível da cozinha
(continua)

Frequência (Hz)	$D_{nT,médio}$ (dB)
100	32,36
125	42,01
160	35,05
200	35,73
250	35,67
315	36,77
400	37,92
500	37,70

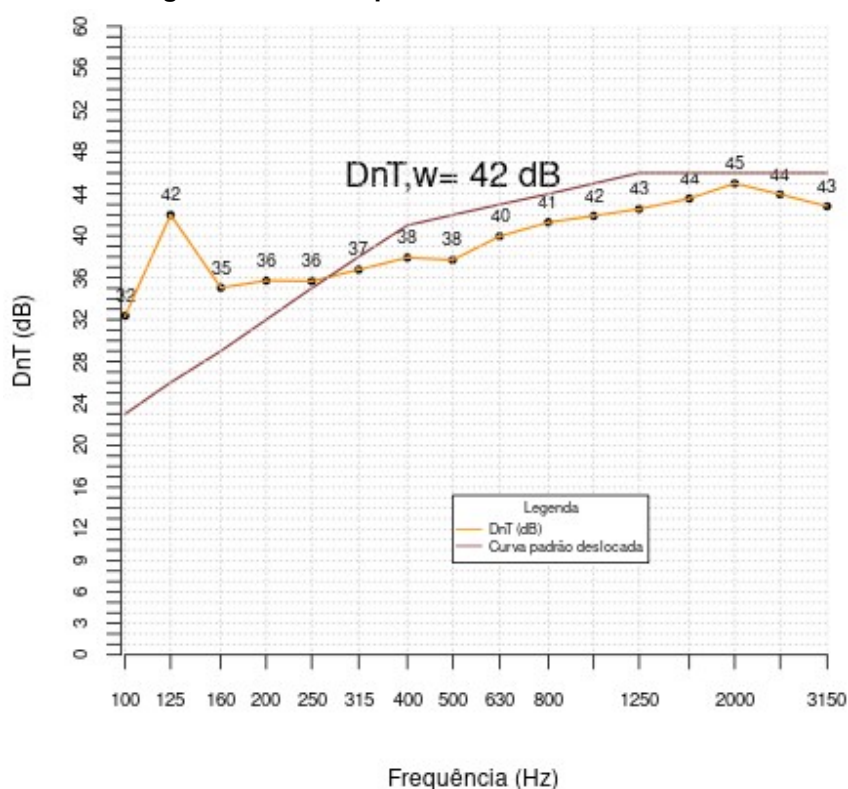
**Tabela 3 – Média energética das diferenças padronizadas de nível da cozinha
(conclusão)**

Frequência (Hz)	$D_{nT,médio}$ (dB)
630	39,96
800	41,29
1000	41,91
1250	42,57
1600	43,56
2000	45,00
2500	43,96
3150	42,82

Fonte: Autoria própria

O resultado da Tabela 3 está sintetizado graficamente, conforme apresentado pela Figura 24, com base no código R descrito no APÊNDICE E.

Figura 24 – Desempenho acústico da cozinha



Fonte: Autoria própria

Ao comparar o valor obtido, $D_{nT,w} = 42$ dB, com o recomendado pela norma brasileira de desempenho, conforme Quadro 1, o desempenho mínimo exigido é de 40 dB. Portanto, a cozinha da unidade habitacional em estudo está de acordo com o recomendado pela norma, sendo classificada como nível de desempenho mínimo.

8.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SALA

A totalidade dos dados coletados pelo sonômetro da medição da sala para as duas posições de fonte sonora estão apresentados nas tabelas do APÊNDICE B.

Os resultados dos cálculos, conforme os métodos descritos, estão apresentados nas Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 – Resultados dos cálculos da sala para a fonte sonora 1

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	77,85	62,89	1,09	18,35
125	86,47	51,66	1,71	40,16
160	85,19	54,78	1,43	34,97
200	76,17	46,79	1,42	33,91
250	76,70	49,74	1,45	31,60
315	80,92	53,06	1,54	32,75
400	83,44	54,62	1,51	33,61
500	83,87	53,83	1,48	34,73
630	85,34	53,51	1,45	36,46
800	84,90	53,03	1,50	36,63
1000	82,67	49,10	1,53	38,42
1250	82,96	47,01	1,54	40,84
1600	81,31	44,56	1,53	41,59
2000	85,73	47,49	1,45	42,85
2500	89,41	50,40	1,30	43,16
3150	84,20	46,39	1,17	41,52

Fonte: Autoria própria

Tabela 5 – Resultados dos cálculos da sala para a fonte sonora 2

(continua)

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	77,90	61,87	1,01	19,08
125	84,36	49,60	1,58	39,77
160	81,50	54,07	1,36	31,78
200	77,53	47,51	1,54	34,91
250	78,11	54,17	1,52	28,77
315	80,96	57,52	1,55	28,35

Tabela 5 – Resultados dos cálculos da sala para a fonte sonora 2 (conclusão)

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
400	82,50	55,10	1,55	32,31
500	84,22	55,13	1,56	34,02
630	84,34	54,38	1,57	34,92
800	83,12	53,95	1,55	34,08
1000	81,68	50,11	1,58	36,57
1250	82,23	48,48	1,64	38,92
1600	79,70	44,98	1,57	39,69
2000	84,66	47,57	1,47	41,78
2500	88,38	49,48	1,38	43,30
3150	83,47	45,18	1,24	42,24

Fonte: Autoria própria

As médias energéticas entre as diferenças padronizadas de nível da sala estão apresentadas na Tabela 6, bem como as incertezas de cálculo, visto que o volume do ambiente é superior a 25 m³. Os valores das incertezas (I) foram retirados da BS (2014) na EN ISO 12999-1, considerando a situação de medição em campo (σ_{situ}). A incerteza expandida (U) foi calculada conforme exemplo prático descrito por Rindel (2018), para um grau de confiabilidade de 90% na análise estatística bicaudal, conforme Equação 7.

$$U = 1,65 \times I \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

1,65 corresponde ao fator de expansão (k) para grau de confiança (GC) de 90%, conforme APÊNDICE G;

I é a incerteza.

Tabela 6 – Média energética das diferenças padronizadas de nível da sala e incertezas (continua)

Frequência (Hz)	$D_{nT,médio}$ (dB)	Incerteza (dB) I	Incerteza expandida U
100	18,70	± 2,80	± 4,62
125	39,96	± 2,40	± 3,96
160	33,09	± 2,00	± 3,30
200	34,38	± 1,80	± 2,97
250	29,96	± 1,60	± 2,64

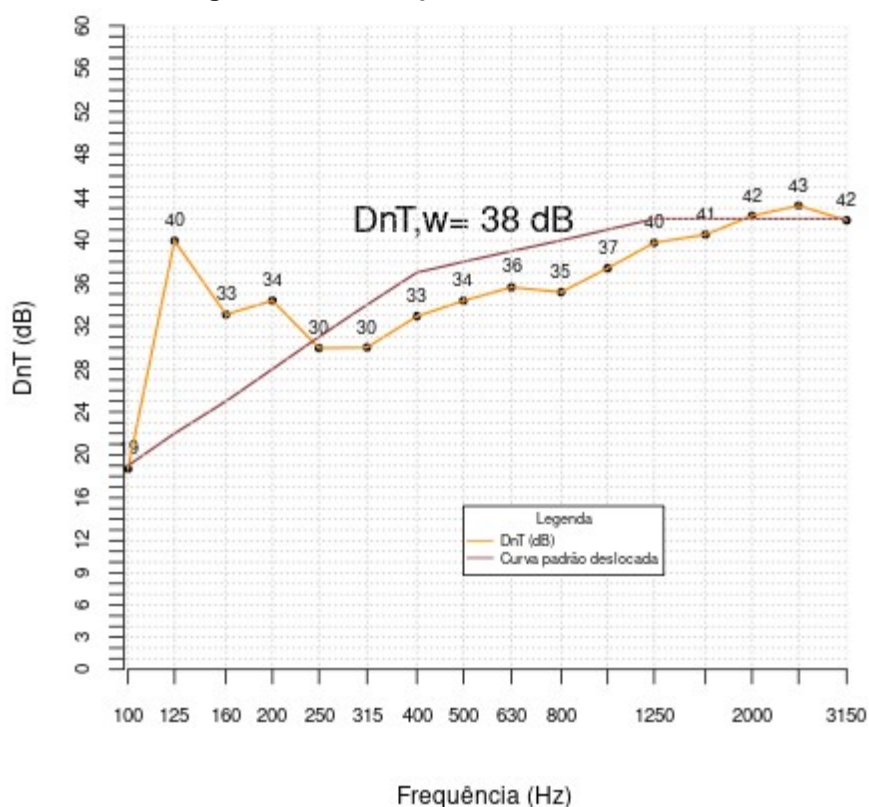
Tabela 6 – Média energética das diferenças padronizadas de nível da sala e incertezas (conclusão)

Frequência (Hz)	$D_{nT,médio}$ (dB)	Incerteza (dB) I	Incerteza expandida U
315	30,01	± 1,40	± 2,31
400	32,91	± 1,20	± 1,98
500	34,36	± 1,10	± 1,82
630	35,62	± 1,00	± 1,65
800	35,17	± 1,00	± 1,65
1000	37,40	± 1,00	± 1,65
1250	39,77	± 1,00	± 1,65
1600	40,54	± 1,00	± 1,65
2000	42,29	± 1,00	± 1,65
2500	43,23	± 1,30	± 2,15
3150	41,86	± 1,60	± 2,64

Fonte: Autoria própria

Ao interpretar os resultados apresentados, têm-se o gráfico da Figura 25.

Figura 25 – Desempenho acústico da sala



Fonte: Autoria própria

A BS (2014) orienta, na EN ISO 12999-1, que considere o valor de 0,90 para a situação de medições do número único em campo. Sendo assim, para um grau de confiança de 90%, a incerteza expandida é de 1,49, conforme a Equação 7. Portanto, verifica-se que o valor final da diferença padronizada de nível ponderada está entre 37 e 39 dB. Ao comparar com os valores do Quadro 1, observa-se que o desempenho mínimo exigido é de 40 dB, então a sala da unidade habitacional em estudo não está de acordo com o recomendado pela norma, mesmo considerando a margem superior de incerteza.

8.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SALA SEPARADA PELO HALL

Os dados fornecidos pelo sonômetro para a sala separada pelo *hall* nas duas posições de fonte sonora estão apresentados nas tabelas do APÊNDICE C.

As Tabela 7 e Tabela 8 apresentam os resultados dos cálculos realizados com base nos métodos apresentados anteriormente.

Tabela 7 – Resultados dos cálculos da sala separada pelo hall para a fonte sonora 1

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	83,37	49,10	0,70	35,72
125	91,80	56,29	1,54	40,39
160	90,12	51,66	1,46	43,10
200	79,43	44,93	1,56	39,43
250	80,39	46,63	1,59	38,78
315	87,82	54,78	1,68	38,19
400	89,04	53,13	1,65	41,10
500	88,49	51,49	1,50	41,77
630	88,82	49,57	1,55	44,17
800	87,99	49,65	1,50	43,10
1000	86,40	48,91	1,53	42,35
1250	86,79	47,22	1,42	44,10
1600	85,11	45,29	1,43	44,39
2000	89,28	51,23	1,38	42,47
2500	92,34	55,55	1,27	40,84
3150	88,65	52,40	1,16	39,91

Fonte: Autoria própria

Tabela 8 – Resultados dos cálculos da sala separada pelo hall para a fonte sonora 2

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	78,63	47,19	0,64	32,48
125	89,17	53,88	1,25	39,27
160	87,15	55,65	1,02	34,59
200	80,47	53,34	1,60	32,19
250	78,90	49,42	1,67	34,72
315	85,13	53,91	1,76	36,68
400	85,74	53,17	1,61	37,64
500	86,37	52,53	1,60	38,89
630	86,47	50,60	1,59	40,89
800	86,10	49,76	1,55	41,25
1000	85,14	48,06	1,41	41,60
1250	85,48	46,92	1,49	43,31
1600	83,30	45,23	1,46	42,71
2000	87,49	50,23	1,46	41,91
2500	89,62	53,04	1,27	40,64
3150	86,99	51,48	1,16	39,18

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 9 está representada as médias energéticas entre as diferenças padronizadas de nível da sala separada pelo *hall* e as considerações de incerteza de medição, visto que o cômodo possui volume superior a 25 m³.

Tabela 9 – Média energética das diferenças padronizadas de nível da sala separada pelo *hall* e incertezas

(continua)

Frequência (Hz)	$D_{nT,médio}$ (dB)	Incerteza (dB) <i>I</i>	Incerteza expandida <i>U</i>
100	33,81	± 2,80	± 4,62
125	39,79	± 2,40	± 3,96
160	37,03	± 2,00	± 3,30
200	34,45	± 1,80	± 2,97
250	36,29	± 1,60	± 2,64
315	37,37	± 1,40	± 2,31
400	39,03	± 1,20	± 1,98
500	40,09	± 1,10	± 1,82
630	42,23	± 1,00	± 1,65
800	42,08	± 1,00	± 1,65
1000	41,96	± 1,00	± 1,65

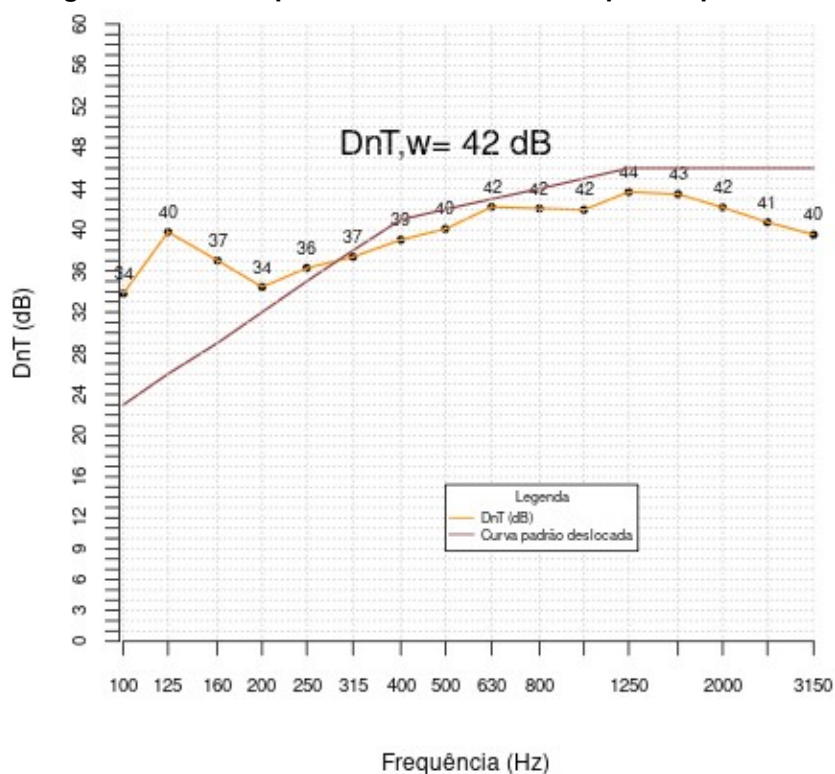
Tabela 9 – Média energética das diferenças padronizadas de nível da sala separada pelo *hall* (conclusão)

Frequência (Hz)	$D_{nT,médio}$ (dB)	Incerteza (dB) I	Incerteza expandida U
1250	43,68	± 1,00	± 1,65
1600	43,47	± 1,00	± 1,65
2000	42,18	± 1,00	± 1,65
2500	40,74	± 1,30	± 2,15
3150	39,53	± 1,60	± 2,64

Fonte: Autoria própria

Os valores de $D_{nT,w}$ contidos na Tabela 9 foram interpretados computacionalmente por meio do código, resultando no gráfico da Figura 26.

Figura 26 – Desempenho acústico da sala separada pelo *hall*



Fonte: Autoria própria

A análise resulta no valor de $42 \pm 1,49$ dB, conforme procedimento de avaliação de incertezas de medição descrito no tópico anterior, considerando as mesmas condições de confiabilidade. Ao comparar ao Quadro 1, conclui-se que a sala separada pelo *hall* está de acordo com a recomendação da norma brasileira de desempenho, mesmo considerando a margem inferior de incerteza, a qual exige

desempenho mínimo de 40 dB. Portanto, a sala separa pelo *hall* da unidade habitacional em estudo está classificada como nível de desempenho mínimo.

8.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO QUARTO

Da mesma forma, os dados obtidos pelo sonômetro através da medição do quarto para as duas posições de fonte sonora estão, em sua totalidade, apresentados nas tabelas do APÊNDICE D.

Com base nos métodos citados no item 7.2.2, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 10 e Tabela 11.

Tabela 10 – Resultados dos cálculos do quarto para a fonte sonora 1

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	82,62	44,60	1,05	41,25
125	95,99	61,06	1,31	39,12
160	92,57	62,32	1,12	33,75
200	81,37	50,80	1,54	35,45
250	88,22	53,70	1,58	39,51
315	92,33	57,99	1,73	39,72
400	92,50	59,23	1,84	38,91
500	91,44	59,67	2,04	37,87
630	90,63	58,73	1,88	37,66
800	90,88	56,63	1,65	39,43
1000	89,31	53,00	1,60	41,36
1250	88,82	49,70	1,50	43,87
1600	86,67	47,11	1,34	43,85
2000	91,58	49,05	1,23	46,42
2500	95,78	51,24	1,07	47,84
3150	90,32	42,01	0,98	51,22

Fonte: Autoria própria

Tabela 11 - Resultados dos cálculos do quarto para a fonte sonora 2

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	83,62	46,89	0,75	38,48
125	97,40	62,60	1,16	38,46
160	92,42	64,50	0,89	30,43
200	83,51	53,52	1,45	34,61
250	84,63	51,68	1,78	38,47
315	89,81	58,25	1,94	37,45
400	90,72	60,33	1,97	36,34
500	91,37	60,81	1,85	36,23
630	91,12	59,80	1,79	36,86
800	90,52	56,72	1,70	39,12
1000	89,82	53,08	1,65	41,92
1250	89,57	50,13	1,58	44,43
1600	86,78	47,21	1,38	43,99
2000	90,92	49,75	1,22	45,03
2500	95,31	50,89	1,08	47,74
3150	90,56	42,08	0,98	51,38

Fonte: Autoria própria

A Tabela 12 representa os resultados das médias energéticas entre as diferenças padronizadas de nível do quarto. Como o volume do quarto é inferior a 25 m³, não é necessário ponderar as incertezas, portanto os valores medidos são representativos em suas totalidades.

Tabela 12 – Média energética das diferenças padronizadas de nível do quarto (continua)

Frequência (Hz)	$D_{nT,médio}$ (dB)
100	39,65
125	38,78
160	31,78
200	35,01
250	38,96
315	38,44
400	37,44
500	36,97
630	37,24
800	39,27
1000	41,63
1250	44,14

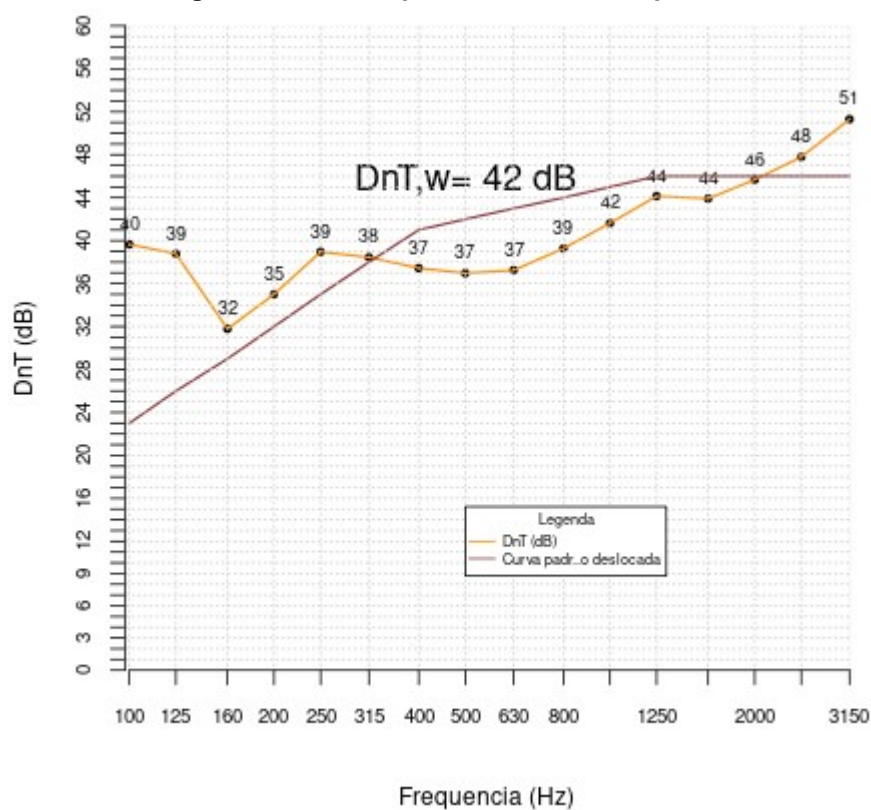
**Tabela 12 – Média energética das diferenças padronizadas de nível do quarto
(conclusão)**

Frequência (Hz)	$D_{nT,médio}$ (dB)
1600	43,92
2000	45,67
2500	47,79
3150	51,30

Fonte: Autoria própria

A Figura 27 representa a interpretação gráfica dos valores de $D_{nT,w}$ contidos na Tabela 12.

Figura 27 – Desempenho acústico do quarto



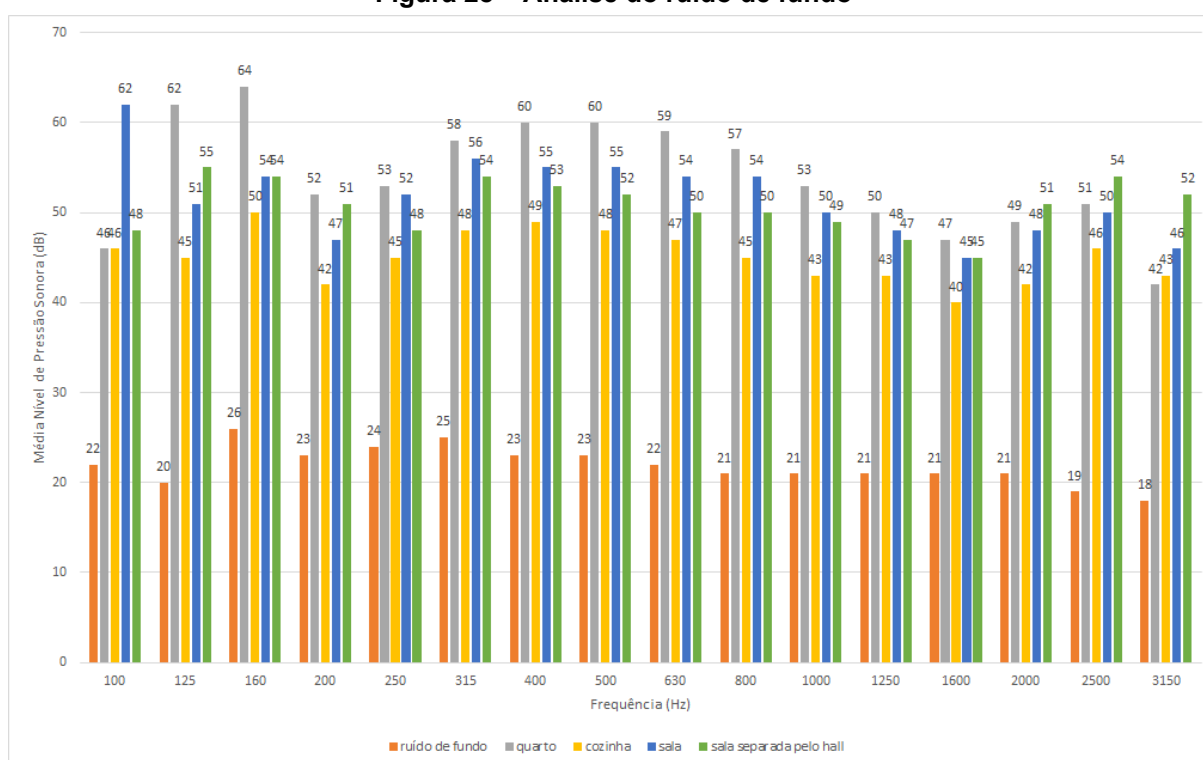
Fonte: Autoria própria

O valor resultante de 42 dB representa, ao ser comparado com o Quadro 1, que o quarto não está de acordo com a norma brasileira de desempenho, a qual exige desempenho mínimo de 45 dB por se tratar de um dormitório geminado.

8.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE RUÍDO DE FUNDO

O ruído de fundo também foi medido em todos os cômodos, próximo ao horário das medições, conforme recomendação da ABNT (2018) NBR ISO 16283-1. A diferença entre as médias energéticas dos valores de níveis de pressão sonora e dos ruídos de fundo, medidos nos cômodos de recepção analisados, deve ser maior do que 6 dB, o que de fato ocorreu, conforme apresentado pelo gráfico da Figura 28, com base nos dados contidos no APÊNDICE F.

Figura 28 – Análise do ruído de fundo



Fonte: Autoria própria

Como todos os resultados foram superiores a 10 dB, não há necessidade de correção do nível de pressão sonora para o ruído de fundo (ABNT, 2018). Também, não foi verificado nenhum outro tipo de ruído significativo durante as medições, portanto os valores são representativos para caracterização da unidade habitacional.

8.6 SUGESTÕES DE MELHORIA

Através dos resultados apresentados, verifica-se pontos que devem ser melhorados a fim de se obter um melhor desempenho acústico da unidade habitacional, sobretudo atender as exigências da norma brasileira de desempenho.

Propõem-se a substituição das esquadrias por esquadrias antirruído, por serem mais robustas e possuírem caixilhos de maior isolamento, de PVC ou madeira. A utilização de vidro duplo ou insulado também é uma boa alternativa, visto que quanto maior a massa de um item, menor sua capacidade de vibração e, conseqüentemente, menor será o ruído transmitido.

Outra medida corretiva, com maior facilidade executiva, é a incorporação de forro de gesso acartonado em todos os ambientes da edificação, em especial nos quartos e salas, o que resultará em um maior tempo de reverberação, melhorando o isolamento acústico do ambiente.

Ainda, pode-se estudar a inserção de contrapiso flutuante nos cômodos em que o desempenho acústico não foi o mínimo exigido. Ou ainda, a implantação desse sistema construtivo em toda a unidade, visto que os demais cômodos analisados apresentaram desempenho mínimo recomendado.

Por fim, se o conjunto habitacional em estudo ainda estivesse em fase de projeto, soluções mais práticas seriam: aumentar as distâncias das janelas de unidades habitacionais distintas, pois o som flanqueado causado por essa proximidade tem grande impacto sobre o desempenho acústico das edificações, trocar o tipo de vedação vertical por outro material melhor isolante e aumentar os tamanhos dos ambientes, em especial das salas e dos quartos.

9 CONCLUSÃO

Diante do crescimento vertical das cidades, como é o caso de Guarapuava-PR, que está se tornando cada vez mais um polo comercial na região, alguns aspectos construtivos precisam de maiores cuidados. Devido à proximidade das unidades habitacionais causada por esse fator, faz-se necessário que o conforto ambiental dos usuários seja revisto e priorizado.

Neste trabalho foi determinado o desempenho acústico dos cômodos geminados de um apartamento, inserido em um conjunto habitacional do Programa Casa Verde e Amarela na cidade de Guarapuava-PR, conforme orientações da norma ABNT (2018) NBR ISO 16283-1.

As análises dos resultados mostram que o quarto e a sala da edificação não estão de acordo com o desempenho recomendado pela ABNT (2021) NBR 15575-4 e que a cozinha e a sala separada pelo *hall* estão classificadas como desempenho mínimo exigido. Dessa forma, é necessário prever medidas corretivas que possam promover maior conforto ambiental dos moradores e uma adequação da edificação à norma brasileira de desempenho.

Como propostas de melhoria estão: a troca do material dos caixilhos das janelas por outro com propriedades mais isolantes, inserção de vidro duplo nas esquadrias, maior distanciamento das janelas de unidade habitacionais distintas, contrapiso flutuante, vedação vertical de material mais absorvente, forro de gesso acartonado ou aumento das dimensões dos cômodos.

Em suma, é necessário se atentar aos métodos e materiais empregados no planejamento e pré-projeto das edificações, visto que esse momento traz maior facilidade para realizar alterações das propostas arquitetônicas, conforme exemplos sugeridos anteriormente, se comparado a uma edificação já construída. Principalmente, estar de acordo com as exigências normativas está diretamente relacionado ao conforto do usuário, proporcionando uma melhor qualidade de vida e evitando doenças que a exposição constante a ruídos pode causar.

REFERÊNCIAS

- ABECIP. **Barulho derruba em 20% o preço de imóveis em BH**. 15 jan. 2019. Disponível em: <<https://www.abecip.org.br/imprensa/noticias/barulho-derruba-em-20-o-preco-de-imoveis-em-bh>>. Acesso em: 25 abr. 2021.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 16313**: Acústica – Terminologia. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **ISO 3382-2**: Acústica — Medição de parâmetros de acústica de salas — Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns. Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **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.
- ARAÚJO, V. S. **Análise do desempenho acústico de uma edificação modelo utilizando o software Projetus, conforme a ABNT NBR 15.575-4/2013**. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018, Maceió, 2018.
- BALLOU, G. M. **Handbook for sound engineers**. 4. ed. Oxford, UK: Elsevier, 2008.
- BERANEK, L.; MELLOW, T. **Acoustics: Sound Fields, Transducers and Vibration**. 2ª ed. Academic Press, 2019.

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

BS (British Standard). **EN ISO 717-1**: Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements — Part 1: Airborne sound insulation. Brussels, 2013.

BS (British Standard). **EN ISO 12999-1**: Acoustics — Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics — Part 1: Sound insulation. Brussels, 2014.

CAMPOS, H. C. **Avaliação pós-ocupação de edificações construídas no sistema *Light Steel Framing***. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Ouro Preto, 2010.

CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus Editora, 2006.

CARVALHO, A. R.; *et al.* **NBR 15575, adequação ambiental e avaliação de desempenho**. MIX Sustentável, v. 6, n. 3, p. 55-70. Florianópolis, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n3.55-70>>

CEF (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL). **Casa Verde e Amarela – Habitação Urbana – Recursos FGTS**. O que é a Casa Verde e Amarela. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/casa-verde-e-amarela/urbana/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 12 abr. 2021a.

CEF (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL). **Plano Empresa da Construção Civil**. Como adquirir. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/construcaocivil/plano_empresa/como_adquirir.asp>. Acesso em: 13 abr. 2021b.

ESPÍNDOLA, L. da R. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade**. 172 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

FELLOWS, R. F.; LIU, A. M. **Research methods for construction**. Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons, 2015.

FILHO, M. V. M. DE O. **Ruído ambiental**: avaliação acústica de edificações. 2014. 152 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

GUARAPUAVA Prefeitura. **Guarapuava cresce e se consolida como polo de investimentos na construção civil no Paraná**. 01 fev. 2020. Disponível em: <<https://www.guarapuava.pr.gov.br/noticias/guarapuava-cresce-e-se-consolida-como-polo-de-investimentos-na-construcao-civil-no-parana>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

HALLIDAY D.; RESNICK R.; WALKER J. **Fundamentos de Física**: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 10ª ed., v. 2. Editora LTC, 2016.

KERBER, L. A.; *et al.* **Desempenho acústico de paredes de alvenaria**: blocos cerâmicos com preenchimento de vermiculita. In: TECSIC, 2º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, São Paulo, 2019.

KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS A. B.; SANDERS J. V. **Fundamentals of Acoustics**. 3ª ed., USA, 1982.

LEVY-LEBOYER, C.; NATUREL, V. **Neighbourhood noise annoyance**. Journal of Environmental Psychology, v. 11, p. 75-86, 1991.

LOSSO, M.; VIVEIROS, E. **Gesso acartonado e isolamento acústico**: teoria versus prática no Brasil. In: X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004, São Paulo: ISBN, 2004.

LOSEKANN, G. C. B.; MOURÃO, C. H. **Desafios do teletrabalho na pandemia COVID-19**: quando o home vira office. Caderno de Administração, v. 28, Maringá, 2020.

LUCA, C. R. **Desempenho acústico em sistemas *drywall***. 2ª ed. Associação brasileira de *drywall*. São Paulo: São Paulo, 2015.

MATOSKI, A; RIBEIRO, R. S. **Avaliação do desempenho acústico de um sistema de construção modular**: estudo de caso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Acústica Aplicada, 105-112. Curitiba, 2016.

MELLO, A. de. **Alerta ao ruído ocupacional**. Monografia (Especialização) – Audiologia Clínica, Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica. Porto Alegre, 1999.

MONACO, R.; *et al.* **Transmissão sonora em sistema de piso**: análise do ruído aéreo e do ruído de impacto nas diferentes etapas construtivas do sistema. In: XXVIII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA. Porto Alegre, 2018.

NETO, M. de F. F. **Nível de conforto acústico**: uma proposta para edifícios residenciais. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2009.

NETO, M. de F. F.; BERTOLI, S. R. **Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmicos**: uma comparação entre Brasil e Portugal. 2010. v. 10, n. 4, p. 169-180. Universidade Estadual de Campinas. Porto Alegre, 2010.

NOGUEIRA, J. R. da S.; CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C. **Desempenho de painel de vedação vertical externa em *Light Steel Framing* composto por placas de madeira mineralizada**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 289-307, jul./set. 2018.

OLIVEIRA, G. A. S. **Verticalização urbana em cidades médias**: o caso de Santa Cruz do Sul – RS. 2012. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul, 2012.

OLIVEIRA, K. G. da S. **Análise das mudanças do novo SiAC (PBQP-H) e os possíveis impactos no setor da construção civil**. Dissertação (Graduação) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017.

PAWLACZYK-ŁUSZCZYŃSKA, M.; DUDAREWICZ, A.; MALGORZATA, W.; SZYMCZAK, W.; ŚLIWIŃSKA-KOWALSKA, M. **The impact of low frequency noise on human mental performance**. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 2005;18(2):185 — 198. Polônia, 2005.

PENEDO, R. C. T.; OITICICA, M. L. G. **Isolamento sonoro aéreo de partições verticais da sala de estar de um apartamento em Maceió-AL Brasil**. PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 5, n. 2, p. 7-14, jul./dez. 2014.

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

RIGHI, P. C. da R. **Ferramenta para análise do desempenho acústico das edificações para fins de financiamento imobiliário**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

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

SCHERER, C. T.; *et al.* **Desempenho acústico de conjuntos de portas e paredes separadas pelo hall de entrada**. *Ambient. constr.*, v. 19, n. 3, p. 165-181, Porto Alegre, 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.

UTLEY, W. A., BULLER, I. B. **A study of complaints about noise from domestic premises**. *Journal of Sound and Vibration*, v. 127, 319-330, 1988.

VIEIRA, E. S., NETO, J. M. de O. **Qualidade na construção civil**: PBQP-H análise do programa brasileiro de qualidade e produtividade do habitat. In: *Revista ETIS – Journal of engineering, technology, innovation and sustainability*. v. 1, n. 1, 2019, Anápolis.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). **Burden of disease from environmental noise**: quantification of healthy life years lost in Europe. Regional Officer for Europe. Copenhagen, Denmark, 2011.

ZAMPIERI, J. N. F.; NAVES, B. B. **Estudo de caso de alvenaria racionalizada de blocos cerâmicos modulares na cidade de Goiânia-GO**. In: *I Semana da Engenharia Civil*, Universidade Federal de Mato Grosso. Araguaia, 2016.

ANEXO A - Certificados de calibração dos materiais utilizados

Este anexo apresenta a certificação de calibração do sonômetro utilizado nas medições do trabalho, conforme a Figura 29.

Figura 29 - Certificado de calibração do sonômetro 2250



LACEL B&K - Laboratório de Acústica
Spectris do Brasil Instrumentos Eletrônicos Ltda
Rua Laguna, 276 Jardim Caravelas - São Paulo / SP
CEP: 04728-000
Telefone: (11) 5188-8165
e-mail: sac@bksv.com

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Certificado N°: CBR2000834

página 1 de 10

CALIBRAÇÃO DO CONJUNTO:

Sonômetro:	Brüel & Kjær	2250	N° série: 3029050	Identificação: ---
Microfone Capacitivo:	Brüel & Kjær	4189	N° série: 3260608	
Pré-amplificador:	Brüel & Kjær	ZC-0032	N° série: 30139	

CLIENTE:

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Avenida Professora Laura Pacheco Bastos, 800
Bairro Industrial - Guarapuava / PR
85053-525



Processo LACEL.B&K: 252/20

CONDIÇÕES DA CALIBRAÇÃO:

Pré-condicionamento: 4 horas em $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$

Condições ambientais estão descritas nas páginas seguintes e dentro das tolerâncias mencionadas abaixo:

Temperatura do ar: $\pm 3 ^\circ\text{C}$

Pressão atmosférica: $\pm 1 \text{ kPa}$

Umidade relativa: $\pm 20 \%$

PROCEDIMENTO:

O Sonômetro foi calibrado de acordo com os requisitos especificados na ABNT NBR IEC 61672-3:2018 para Classe 1.

DOCUMENTAÇÃO UTILIZADA:

Procedimento de calibração BPC 12r10 para Sonômetro, utilizando o Sistema de Calibração B&K 3630.

Formulário padronizado - BFC SLM 02r02

INFORMAÇÕES:

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório.

Este certificado é válido apenas para o objeto calibrado e não pode ser reproduzido parcialmente sem autorização prévia.

Data da calibração: 14/12/2020

Data da emissão: 14/12/2020



MARCOS
ALLEGRETTI:10333345886

Assinado de forma digital por
MARCOS ALLEGRETTI:10333345886
Dados: 2020.12.15 07:39:12 -03'00'

Gerente de Serviço do Laboratório de Acústica e Vibração

Fonte: Lacel. B&K – Laboratório de Acústica, 2020

A Figura 30 apresenta o certificado de calibração do calibrador de nível sonoro utilizado.

Figura 30 - Certificado de calibração do calibrador 4231

Brüel & Kjær 
BEYOND MEASURE

Spectris do Brasil Instrumentos Eletrônicos Ltda
LACEL.B&K - Laboratório de Acústica
Rua Laguna, 276 Jardim Caravelas - São Paulo / SP
CEP: 04728-000

Fone: (11) 5188-8165
e-mail: sac@bksv.com

Página 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Certificado Nº: CBR2000837

CALIBRAÇÃO DE:

Modelo:	4231	Código de Identificação:	---
Descrição:	Calibrador de Nível Sonoro	Classe aplicada:	1
Número de série:	3025920	Normas aplicadas:	IEC 60942:2003
Fabricante:	Brüel & Kjær		

CLIENTE:

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Av. Professora Laura Pacheco Bastos, 800
Bairro Industrial - Guarapuava / PR
85053-525



Processo LACEL.B&K nº: 252/20

CONDIÇÕES DA CALIBRAÇÃO:

Condições ambientais:	Temperatura do ar:	(23,1 ± 3) °C
	Pressão atmosférica:	(92,69 ± 1) kPa
	Umidade relativa do ar:	(67,3 ± 10) %

DOCUMENTAÇÃO UTILIZADA:

Procedimento de calibração BPC 22r05 para Calibrador Acústico, utilizando o Sistema de Calibração B&K 7794.
Código da calibração utilizado no programa de controle: 4231-BR
Formulário padronizado – BFC CNS 04r03

RESULTADO:

<input checked="" type="checkbox"/> Calibração inicial	<input type="checkbox"/> Calibração antes do ajuste
<input type="checkbox"/> Calibração sem ajuste	<input type="checkbox"/> Calibração após ajuste

INFORMAÇÕES:

Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.

Declaramos que o ajuste não faz parte do escopo da acreditação do laboratório junto a Cgcre.

Este certificado é válido apenas para o objeto calibrado e não pode ser reproduzido parcialmente sem autorização prévia.

Cgcre is a signatory of the ILAC and IAC to Mutual Recognition Arrangement and the Bilateral Agreement on Mutual Recognition with EA.

Data da calibração: 14/12/2020

Data da emissão: 14/12/2020



MARCOS

ALLEGRETTI:10333345886

Gerente de Serviço do Laboratório de Acústica e Vibração

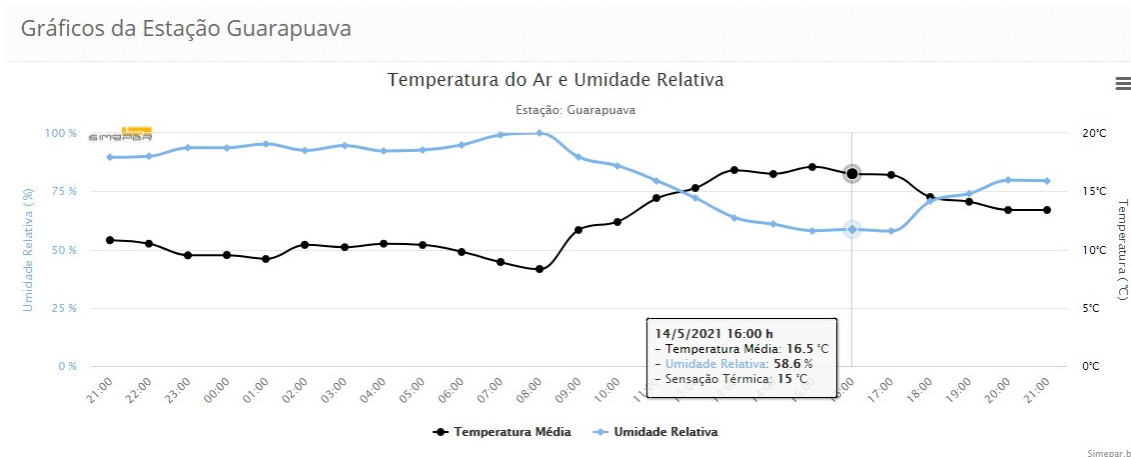
Assinado de forma digital por
MARCOS ALLEGRETTI:10333345886
Dados: 2020.12.14 16:10:54 -03'00'

Fonte: Lacel. B&K – Laboratório de Acústica, 2020

ANEXO B - Condições climáticas durante as medições

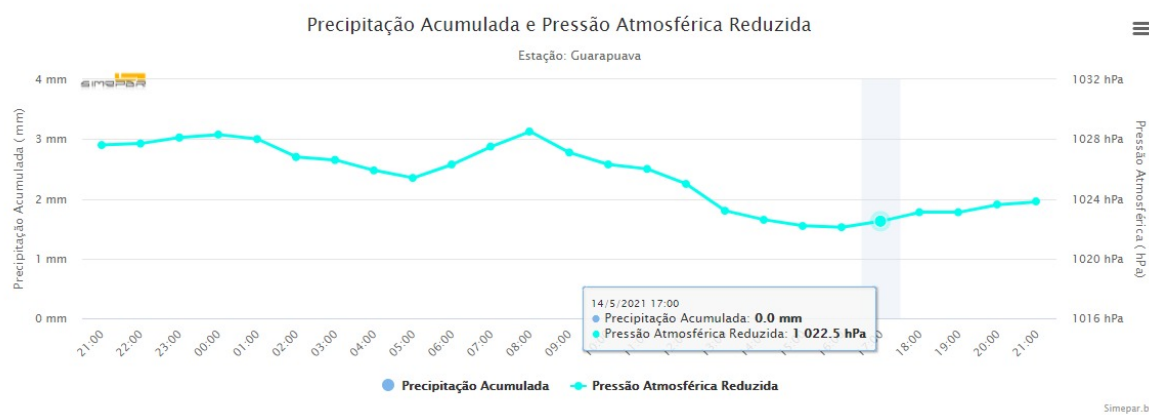
Os valores da temperatura e umidade relativa do ar no momento das medições estão apresentados na Figura 31, assim como a pressão atmosférica na Figura 32.

Figura 31 - Temperatura do ar e umidade no dia 14/05/2021 em Guarapuava



Fonte: SIMEPAR, 2021

Figura 32 – Pressão atmosférica no dia 14/05/2021 em Guarapuava



Fonte: SIMEPAR, 2021

APÊNDICE A - Dados fornecidos pelo sonômetro na medição da cozinha

A Tabela 13 e Tabela 14 apresentam os dados coletados pelo sonômetro do nível de pressão sonora, organizados no *software Microsoft Excel*, para a posição 1 de fonte sonora e posição 2, respectivamente. Cada medição em campo foi nomeada respeitando o seguinte padrão: *m* para medição de nível de pressão sonora ou *tr* para tempo de reverberação + número da medição + *e* para o cômodo de emissão ou *r* para o de recepção.

Tabela 13 – Dados do nível de pressão sonora da cozinha para fonte 1

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m1e	m1r	m2e	m2r	m3e	m3r	m4e	m4r	m5e	m5r
100	74,44	46,06	68,56	52,43	81,97	38,88	74,97	38,04	70,56	28,68
125	83,15	46,34	79,73	46,15	81,57	46,05	81,84	43,83	84,72	44,63
160	77,7	54,69	79,15	49,20	80,49	52,43	79,82	45,56	83,42	52,00
200	76,45	44,55	75,34	45,01	73,32	42,99	74,75	42,88	72,77	42,53
250	75,85	45,66	76,73	45,68	77,40	46,64	77,08	45,18	75,61	44,23
315	78,46	49,43	80,36	47,98	80,06	49,06	79,96	47,61	82,02	47,24
400	82,23	50,16	80,90	49,33	82,28	49,73	81,27	48,28	81,68	49,20
500	81,88	49,89	80,67	49,05	82,61	48,80	82,35	47,51	81,40	48,29
630	81,92	46,81	82,01	48,19	82,15	48,63	81,28	47,38	82,27	47,36
800	81,71	46,35	81,95	46,92	81,57	45,15	82,87	45,04	82,32	45,08
1000	79,98	44,58	80,95	45,33	81,30	43,69	81,45	43,28	80,78	43,37
1250	81,59	44,86	82,08	44,64	80,91	43,49	81,51	42,95	80,77	43,87
1600	79,15	41,23	79,72	40,86	78,94	40,31	79,15	39,77	78,88	40,63
2000	83,56	43,09	83,47	43,78	83,60	43,51	83,18	43,18	83,23	43,56
2500	86,04	46,19	86,37	46,90	86,83	47,28	86,79	47,25	86,04	47,45
3150	82,53	43,23	82,90	43,95	83,61	44,09	83,16	44,11	81,93	45,10

Fonte: Autoria própria

Tabela 14 – Dados do nível de pressão sonora da cozinha para fonte 2

(continua)

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m6e	m6r	m7e	m7r	m8e	m8r	m9e	m9r	m10e	m10r
100	78,20	38,12	72,29	44,23	76,43	44,78	79,67	49,84	77,86	36,94
125	81,90	45,68	82,98	45,51	81,00	42,88	82,01	39,21	80,65	41,75
160	78,79	39,39	81,09	44,69	78,92	47,02	80,15	44,07	74,9	45,51
200	71,17	36,90	70,75	40,67	71,37	36,13	69,29	39,81	67,22	42,30
250	73,51	42,71	74,78	45,94	73,79	43,29	75,71	43,66	72,94	44,55

Tabela 14 – Dados do nível de pressão sonora da cozinha para fonte 2
(conclusão)

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m6e	m6r	m7e	m7r	m8e	m8r	m9e	m9r	m10e	m10r
315	79,41	47,36	79,65	48,95	79,25	48,21	79,09	48,97	79,1	48,39
400	81,22	46,56	82,36	48,54	80,77	47,48	80,49	48,61	80,29	47,48
500	80,76	47,09	80,89	47,89	79,23	48,20	80,52	48,30	80,17	47,52
630	81,62	45,01	79,72	45,52	80,04	44,62	81,45	44,83	81,26	44,56
800	80,91	43,74	79,64	44,55	79,75	44,22	81,61	44,20	80,61	43,12
1000	79,28	41,74	79,02	42,22	79,33	41,12	80,35	41,52	78,85	42,00
1250	80,01	41,01	79,54	41,60	78,09	40,93	80,71	41,59	80,36	40,93
1600	78,16	37,44	77,09	38,60	76,56	37,91	77,26	38,01	77,98	38,39
2000	82,51	40,92	81,42	41,10	80,59	40,50	82,16	39,45	81,92	41,36
2500	85,47	44,36	83,67	43,68	83,72	43,83	84,66	42,44	84,43	45,04
3150	82,08	42,12	80,06	41,11	80,79	41,34	80,58	38,81	81,00	42,35

Fonte: Autoria própria

Os valores dos tempos de reverberação coletados, para as fontes 1 e 2, estão dispostos na Tabela 15 e Tabela 16, respectivamente.

Tabela 15 – Dados do tempo de reverberação da cozinha para fonte 1
(continua)

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6
100	0,48	0,93	0,81	0,58	0,52	0,87
125	1,98	1,89	1,28	1,37	1,31	1,39
160	1,74	1,82	1,35	1,41	1,34	1,07
200	2,00	1,42	1,20	1,58	1,79	1,34
250	1,61	1,54	1,31	1,68	1,68	1,70
315	1,64	1,67	1,83	1,59	1,66	1,68
400	1,56	1,87	1,76	1,72	1,56	1,45
500	1,46	1,56	1,62	1,45	1,33	1,57
630	1,46	1,65	1,69	1,41	1,59	1,51
800	1,52	1,49	1,55	1,62	1,40	1,41
1000	1,53	1,51	1,61	1,65	1,40	1,48
1250	1,44	1,42	1,44	1,34	1,43	1,44

Tabela 15 – Dados do tempo de reverberação da cozinha para fonte 1

(conclusão)

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6
1600	1,37	1,43	1,57	1,39	1,38	1,45
2000	1,35	1,41	1,42	1,37	1,35	1,39
2500	1,26	1,22	1,29	1,37	1,22	1,27
3150	1,17	1,19	1,19	1,18	1,15	1,08

Fonte: Autoria própria

Tabela 16 – Dados do tempo de reverberação da cozinha para fonte 2

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr7	tr8	tr9	tr10	tr11	tr12
100	0,58	0,75	0,59	0,61	0,60	0,68
125	1,31	1,34	1,45	1,28	1,10	1,01
160	1,09	1,07	1,06	1,06	0,85	0,99
200	1,54	1,47	1,43	1,58	1,57	2,03
250	1,66	1,95	1,61	1,38	1,74	1,69
315	1,68	1,78	1,85	1,63	1,74	1,87
400	1,46	1,70	1,87	1,52	1,78	1,32
500	1,75	1,55	1,56	1,54	1,56	1,62
630	1,47	1,64	1,54	1,65	1,70	1,52
800	1,53	1,59	1,55	1,42	1,60	1,61
1000	1,36	1,28	1,51	1,39	1,56	1,38
1250	1,43	1,58	1,43	1,37	1,59	1,54
1600	1,44	1,51	1,45	1,43	1,44	1,46
2000	1,43	1,46	1,47	1,46	1,48	1,45
2500	1,24	1,25	1,29	1,27	1,32	1,26
3150	1,09	1,14	1,17	1,20	1,21	1,17

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE B - Dados fornecidos pelo sonômetro na medição da sala

Os níveis de pressão sonora fornecidos pelo sonômetro para as medições da sala estão apresentados na Tabela 17 e Tabela 18, para a posição 1 e 2 de fonte sonora, respectivamente.

Tabela 17 – Dados do nível de pressão sonora da sala para fonte 1

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m1e	m1r	m2e	m2r	m3e	m3r	m4e	m4r	m5e	m5r
100	75,53	63,69	80,49	59,70	75,96	65,87	74,41	63,17	79,54	57,18
125	86,69	54,67	86,93	49,74	86,83	52,00	86,63	49,99	85,03	49,37
160	85,70	56,58	84,74	53,96	86,52	55,54	81,48	54,79	85,93	51,44
200	76,38	49,42	77,55	43,26	76,22	45,89	75,17	42,79	75,02	48,59
250	76,51	49,86	78,18	48,51	76,03	50,10	75,96	47,88	76,44	51,44
315	80,48	52,63	82,37	53,71	80,47	54,22	81,18	51,85	79,58	52,43
400	83,39	54,81	84,07	55,55	83,59	53,95	83,29	55,10	82,76	53,35
500	84,74	54,88	83,88	53,24	84,72	54,03	82,94	53,88	82,63	52,85
630	85,37	54,34	85,26	54,01	86,45	53,35	85,42	53,06	83,83	52,54
800	83,22	52,56	85,54	52,95	85,48	53,28	84,21	53,34	85,58	52,96
1000	81,52	49,80	83,31	48,89	83,15	49,53	81,97	49,06	83,11	48,00
1250	82,54	47,23	83,47	46,68	83,54	47,51	83,08	47,31	81,96	46,18
1600	81,67	44,43	81,01	44,61	81,56	44,69	80,47	44,88	81,69	44,15
2000	85,48	47,49	86,29	47,38	86,29	47,47	85,14	47,53	85,33	47,58
2500	90,19	50,22	89,74	50,23	89,85	50,33	87,98	50,50	88,92	50,68
3150	84,42	45,86	84,46	46,41	84,90	46,77	83,42	46,47	83,63	46,37

Fonte: Autoria própria

Tabela 18 – Dados do nível de pressão sonora da sala para fonte 2

(continua)

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m6e	m6r	m7e	m7r	m8e	m8r	m9e	m9r	m10e	m10r
100	81,39	64,48	75,66	61,36	66,36	57,52	79,51	62,47	76,02	60,73
125	83,64	49,81	82,99	48,56	86,76	52,04	82,45	47,27	84,54	48,75
160	81,69	53,70	81,97	54,29	82,94	49,48	79,95	55,11	80,27	55,57
200	76,57	50,71	79,01	43,83	78,31	44,77	75,28	46,36	77,52	48,24
250	77,65	54,55	78,92	54,91	79,13	51,79	76,11	54,81	78,09	54,09
315	82,03	57,18	80,36	58,47	80,65	56,97	79,65	55,42	81,66	58,77
400	83,15	54,10	82,43	53,33	82,48	54,88	81,88	56,85	82,49	55,50
500	83,83	55,02	85,27	54,46	83,70	54,40	84,00	55,25	84,10	56,27

Tabela 18 – Dados do nível de pressão sonora da sala para fonte 2
(conclusão)

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m6e	m6r	m7e	m7r	m8e	m8r	m9e	m9r	m10e	m10r
630	85,39	55,68	85,03	53,87	83,50	53,47	83,77	52,95	83,67	55,28
800	83,00	55,07	83,78	52,92	83,46	52,51	82,68	54,00	82,54	54,71
1000	82,22	49,74	81,09	50,60	81,73	49,58	81,07	49,93	82,17	50,61
1250	82,47	48,33	81,58	47,89	82,35	48,71	82,47	48,66	82,21	48,74
1600	79,62	45,37	79,30	44,73	79,48	44,77	80,16	44,80	79,88	45,18
2000	85,04	48,03	84,74	47,24	84,69	47,37	84,12	47,31	84,68	47,86
2500	88,91	49,47	88,77	49,36	88,40	49,85	87,27	48,41	88,35	50,13
3150	84,20	45,49	83,17	45,00	83,28	45,12	83,13	44,28	83,48	45,84

Fonte: Autoria própria

Os valores dos tempos de reverberação coletados, para as fontes 1 e 2, estão dispostos na Tabela 19 e Tabela 20, respectivamente.

Tabela 19 – Dados do tempo de reverberação da sala para fonte 1
(continua)

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6
100	0,99	1,14	1,32	0,85	1,36	0,89
125	1,39	1,51	1,84	1,99	2,79	0,73
160	1,40	1,56	1,53	1,47	1,54	1,08
200	1,29	1,89	1,09	1,49	1,47	1,29
250	1,19	1,30	1,26	1,45	2,10	1,42
315	1,43	1,32	1,79	1,53	1,60	1,58
400	1,66	1,53	1,55	1,34	1,53	1,44
500	1,31	1,36	1,59	1,55	1,45	1,59
630	1,45	1,61	1,39	1,47	1,39	1,39
800	1,53	1,35	1,50	1,51	1,47	1,61
1000	1,53	1,41	1,62	1,46	1,48	1,67
1250	1,65	1,51	1,47	1,42	1,63	1,57
1600	1,49	1,49	1,57	1,53	1,51	1,56
2000	1,47	1,41	1,47	1,42	1,42	1,48

Tabela 19 – Dados do tempo de reverberação da sala para fonte 1

(conclusão)

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6
2500	1,29	1,28	1,35	1,28	1,23	1,37
3150	1,20	1,16	1,14	1,20	1,14	1,20

Fonte: Aatoria própria

Tabela 20 - Dados do tempo de reverberação da sala para fonte 2

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr7	tr8	tr9	tr10	tr11	tr12
100	0,84	0,67	1,64	0,97	1,06	0,87
125	1,46	1,62	1,77	1,70	1,56	1,39
160	1,19	1,12	1,26	1,40	1,93	1,26
200	1,09	1,19	1,77	1,53	1,76	1,91
250	1,61	1,22	1,55	1,60	1,41	1,73
315	1,74	1,21	1,55	1,56	1,57	1,66
400	1,56	1,55	1,64	1,38	1,62	1,54
500	1,44	1,68	1,52	1,56	1,42	1,72
630	1,67	1,63	1,50	1,47	1,51	1,61
800	1,37	1,65	1,46	1,61	1,64	1,57
1000	1,84	1,52	1,46	1,52	1,54	1,60
1250	1,88	1,61	1,67	1,63	1,49	1,58
1600	1,68	1,63	1,50	1,60	1,46	1,55
2000	1,56	1,56	1,46	1,46	1,39	1,41
2500	1,55	1,41	1,34	1,38	1,27	1,33
3150	1,27	1,26	1,23	1,23	1,23	1,22

Fonte: Aatoria própria

APÊNDICE C - Dados fornecidos pelo sonômetro na medição da sala separada pelo *hall*

Os dados fornecidos pelo sonômetro para as medições da sala separada pelo hall estão apresentados na Tabela 21 e Tabela 22 para ambas posições de fonte sonora.

Tabela 21 – Dados do nível de pressão sonora da sala separada pelo *hall* para fonte 1

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m1e	m1r	m2e	m2r	m3e	m3r	m4e	m4r	m5e	m5r
100	75,31	49,61	85,99	49,77	82,52	48,02	78,83	48,78	86,01	49,08
125	92,51	53,72	92,94	58,43	92,89	57,22	90,21	55,95	89,18	54,37
160	90,76	53,40	89,71	48,28	92,95	50,10	88,03	51,64	86,09	52,97
200	79,13	46,78	81,59	43,26	77,65	45,24	78,35	44,01	79,32	44,48
250	83,03	47,35	79,43	47,51	79,93	46,59	78,99	45,03	79,09	46,23
315	86,89	55,55	87,15	54,22	89,05	56,07	86,76	54,98	88,26	52,08
400	88,20	54,67	88,66	53,00	90,58	53,42	87,54	52,38	89,54	51,55
500	89,45	52,70	88,91	51,00	87,67	51,51	88,19	51,46	88,01	50,48
630	88,96	50,05	89,10	50,07	88,77	49,52	88,95	49,50	88,30	48,54
800	88,71	49,62	87,93	51,41	88,58	49,84	87,18	48,47	87,30	48,10
1000	86,66	49,23	86,67	49,86	85,55	48,78	87,36	48,82	85,47	47,52
1250	87,37	48,22	86,70	47,40	87,13	47,55	86,57	46,41	86,06	46,18
1600	85,07	45,30	86,12	46,08	84,31	45,29	85,13	45,05	84,70	44,58
2000	89,32	50,66	89,65	53,06	88,97	50,88	89,32	50,22	89,11	50,68
2500	92,26	55,37	92,65	57,01	92,30	54,96	91,72	54,47	92,69	55,49
3150	88,49	51,65	88,48	53,56	89,08	51,89	89,16	52,30	87,95	52,32

Fonte: Autoria própria

**Tabela 22 – Dados do nível de pressão sonora da sala separada pelo *hall* para fonte 2
(continua)**

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m6e	m6r	m7e	m7r	m8e	m8r	m9e	m9r	m10e	m10r
100	76,16	49,33	73,58	47,75	78,44	46,49	82,05	45,47	78,49	45,62
125	89,05	57,79	88,72	52,81	90,23	53,03	88,34	50,69	89,27	50,43
160	87,65	56,41	85,95	56,90	88,83	53,82	87,76	53,12	84,07	56,67
200	80,87	54,71	80,15	53,71	83,73	54,33	75,53	47,61	77,78	53,42
250	78,70	47,41	79,10	49,74	80,52	48,73	78,07	50,77	77,45	49,75
315	85,06	52,97	85,59	55,25	84,10	51,75	87,31	54,25	81,78	54,48
400	86,27	53,37	84,50	53,55	87,08	52,15	86,10	52,29	83,97	54,17
500	87,70	51,09	84,41	51,96	87,51	51,41	86,27	53,18	85,02	54,20

**Tabela 22 – Dados do nível de pressão sonora da sala separada pelo *hall* para fonte 2
(conclusão)**

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m6e	m6r	m7e	m7r	m8e	m8r	m9e	m9r	m10e	m10r
630	85,60	50,36	85,97	50,63	87,64	50,26	87,33	50,70	85,31	51,02
800	86,01	50,25	86,24	50,26	86,19	49,10	85,91	49,23	86,15	49,83
1000	85,98	48,65	84,32	47,84	84,62	47,65	84,94	47,83	85,64	48,24
1250	86,20	46,51	86,33	47,23	85,12	46,76	85,24	46,95	84,16	47,10
1600	83,43	44,71	83,49	45,63	83,94	45,42	83,08	45,33	82,39	44,99
2000	87,75	49,82	87,51	50,66	87,57	50,44	87,95	50,06	86,56	50,12
2500	90,29	53,45	89,83	53,58	89,11	52,91	89,63	52,45	89,14	52,68
3150	87,84	51,73	86,78	51,70	87,28	51,38	86,95	50,85	85,89	51,67

Fonte: Autoria própria

Os valores dos tempos de reverberação coletados, para as fontes 1 e 2, estão dispostos na Tabela 23 e Tabela 24, respectivamente.

**Tabela 23 – Dados do tempo de reverberação da sala separada pelo *hall* para fonte 1
(continua)**

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6
100	0,48	0,93	0,81	0,58	0,52	0,87
125	1,98	1,89	1,28	1,37	1,31	1,39
160	1,74	1,82	1,35	1,41	1,34	1,07
200	2,00	1,42	1,20	1,58	1,79	1,34
250	1,61	1,54	1,31	1,68	1,68	1,70
315	1,64	1,67	1,83	1,59	1,66	1,68
400	1,56	1,87	1,76	1,72	1,56	1,45
500	1,46	1,56	1,62	1,45	1,33	1,57
630	1,46	1,65	1,69	1,41	1,59	1,51
800	1,52	1,49	1,55	1,62	1,40	1,41
1000	1,53	1,51	1,61	1,65	1,40	1,48
1250	1,44	1,42	1,44	1,34	1,43	1,44
1600	1,37	1,43	1,57	1,39	1,38	1,45
2000	1,35	1,41	1,42	1,37	1,35	1,39

Tabela 23 – Dados do tempo de reverberação da sala separada pelo *hall* para fonte 1 (conclusão)

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6
2500	1,26	1,22	1,29	1,37	1,22	1,27
3150	1,17	1,19	1,19	1,18	1,15	1,08

Fonte: Autoria própria

Tabela 24 - Dados do tempo de reverberação da sala separada pelo *hall* para fonte 2

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr7	tr8	tr9	tr10	tr11	tr12
100	0,58	0,75	0,59	0,61	0,60	0,68
125	1,31	1,34	1,45	1,28	1,10	1,01
160	1,09	1,07	1,06	1,06	0,85	0,99
200	1,54	1,47	1,43	1,58	1,57	2,03
250	1,66	1,95	1,61	1,38	1,74	1,69
315	1,68	1,78	1,85	1,63	1,74	1,87
400	1,46	1,70	1,87	1,52	1,78	1,32
500	1,75	1,55	1,56	1,54	1,56	1,62
630	1,47	1,64	1,54	1,65	1,70	1,52
800	1,53	1,59	1,55	1,42	1,60	1,61
1000	1,36	1,28	1,51	1,39	1,56	1,38
1250	1,43	1,58	1,43	1,37	1,59	1,54
1600	1,44	1,51	1,45	1,43	1,44	1,46
2000	1,43	1,46	1,47	1,46	1,48	1,45
2500	1,24	1,25	1,29	1,27	1,32	1,26
3150	1,09	1,14	1,17	1,20	1,21	1,17

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE D - Dados fornecidos pelo sonômetro na medição do quarto

Da mesma forma, os dados fornecidos pelo sonômetro para as medições do quarto estão apresentados na Tabela 25 e Tabela 26 para ambas posições de fonte sonora.

Tabela 25 – Dados do nível de pressão sonora do quarto para fonte 1

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m1e	m1r	m2e	m2r	m3e	m3r	m4e	m4r	m5e	m5r
100	86,77	41,47	84,56	45,73	80,13	41,55	74,92	45,59	72,97	46,26
125	96,47	59,18	96,83	61,09	94,90	63,2	95,72	61,15	95,78	59,42
160	93,80	56,54	96,25	63,59	91,26	61,11	86,10	63,96	88,28	63,04
200	79,68	52,01	77,74	50,24	80,61	52,11	82,44	50,46	83,84	47,97
250	90,57	52,79	88,83	55,90	85,98	51,49	87,78	53,32	86,21	53,77
315	90,78	58,67	93,92	57,42	92,64	57,27	93,03	58,05	90,18	58,38
400	92,07	57,76	94,64	60,27	89,94	58,64	92,27	60,39	92,30	58,48
500	92,67	60,27	92,69	58,70	91,18	59,60	89,33	59,70	90,36	59,91
630	89,88	58,43	91,07	58,76	90,67	59,58	89,74	58,92	91,51	57,74
800	91,06	56,78	92,33	57,04	90,15	56,54	90,05	56,08	90,38	56,67
1000	89,13	52,17	90,04	52,52	89,09	53,75	89,61	53,31	88,52	53,07
1250	88,81	48,66	88,73	49,79	88,78	49,45	88,11	50,57	89,53	49,80
1600	86,68	46,51	86,87	47,32	86,73	46,85	86,24	47,11	86,79	47,68
2000	92,04	49,26	90,53	49,10	92,11	48,80	91,62	49,21	91,41	48,88
2500	96,18	51,65	95,63	51,88	96,30	50,93	95,47	51,05	95,23	50,55
3150	89,29	41,61	89,63	42,10	90,77	42,21	91,36	41,94	90,22	42,17

Fonte: Autoria própria

Tabela 26 – Dados do nível de pressão sonora do quarto para fonte 2

(continua)

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m6e	m6r	m7e	m7r	m8e	m8r	m9e	m9r	m10e	m10r
100	81,81	47,88	81,86	39,29	77,03	47,74	83,54	50,10	87,56	41,04
125	97,71	64,04	97,86	62,05	96,01	60,77	97,60	64,11	97,58	60,79
160	94,69	66,59	87,73	57,44	91,81	62,68	91,79	68,20	93,36	57,23
200	78,87	48,22	85,49	58,28	85,28	50,19	84,43	48,46	78,84	53,25
250	85,42	52,34	83,67	54,02	82,44	51,14	83,06	50,07	86,93	49,08
315	87,08	57,96	89,67	59,11	88,49	55,56	90,90	60,09	91,50	57,19
400	89,27	59,83	91,66	59,82	89,23	58,62	91,29	60,32	91,49	62,23
500	90,04	61,16	91,57	60,92	91,07	59,01	92,22	62,66	91,63	59,28

**Tabela 26 – Dados do nível de pressão sonora do quarto para fonte 2
(conclusão)**

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m6e	m6r	m7e	m7r	m8e	m8r	m9e	m9r	m10e	m10r
630	90,96	60,56	92,09	60,85	90,90	59,75	90,94	59,17	90,54	58,14
800	90,03	56,58	91,42	57,17	90,47	56,89	90,16	55,83	90,40	56,99
1000	90,11	52,21	89,43	53,31	89,90	54,70	90,39	52,33	89,15	52,30
1250	89,77	50,33	89,36	51,09	89,20	49,81	90,05	48,81	89,41	50,31
1600	87,26	47,38	86,75	48,55	86,82	46,83	86,88	46,55	86,09	46,37
2000	90,50	49,87	91,29	50,57	91,90	49,49	89,58	48,55	90,99	50,04
2500	95,14	50,97	96,40	50,89	95,12	51,22	94,45	50,04	95,22	51,24
3150	90,46	41,84	91,15	43,11	90,85	42,10	90,26	41,13	89,96	41,98

Fonte: Autoria própria

Os valores dos tempos de reverberação coletados, para as fontes 1 e 2, estão dispostos na Tabela 27 e Tabela 28, respectivamente.

**Tabela 27 – Dados do tempo de reverberação do quarto para fonte 1
(continua)**

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6
100	0,89	0,75	1,34	1,22	1,07	1,04
125	1,20	1,33	1,47	1,19	1,33	1,35
160	1,41	1,10	1,19	1,02	0,93	1,07
200	1,42	1,30	1,71	1,60	1,38	1,82
250	1,78	1,49	1,59	1,49	1,52	1,60
315	1,58	1,81	1,58	1,95	1,72	1,71
400	1,69	1,99	1,77	1,84	1,90	1,82
500	2,07	2,09	1,70	2,16	2,04	2,16
630	2,01	1,90	1,89	1,93	1,76	1,80
800	1,57	1,67	1,79	1,63	1,62	1,61
1000	1,68	1,60	1,69	1,60	1,41	1,61
1250	1,43	1,48	1,46	1,48	1,60	1,52
1600	1,25	1,28	1,44	1,47	1,31	1,31
2000	1,22	1,20	1,26	1,25	1,16	1,27

**Tabela 27 – Dados do tempo de reverberação do quarto para fonte 1
(conclusão)**

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6
2500	1,03	1,02	1,10	1,13	1,08	1,05
3150	0,94	0,95	1,04	1,01	0,94	0,99

Fonte: Autoria própria

Tabela 28 - Dados do tempo de reverberação do quarto para fonte 2

Frequência (Hz)	Medição (s)					
	tr7	tr8	tr9	tr10	tr11	tr12
100	0,45	0,95	0,68	0,80	0,79	0,82
125	1,23	1,17	1,19	1,22	1,13	1,03
160	0,86	1,14	0,96	0,85	0,79	0,75
200	1,21	1,21	1,78	1,61	1,58	1,30
250	1,84	1,60	1,80	1,85	1,86	1,74
315	1,56	1,89	2,30	2,16	1,80	1,95
400	1,93	1,94	2,05	2,11	1,73	2,05
500	1,96	1,66	1,87	1,72	1,91	1,96
630	1,91	1,72	1,99	1,69	1,79	1,64
800	1,71	1,72	1,92	1,61	1,58	1,65
1000	1,65	1,63	1,82	1,75	1,49	1,55
1250	1,45	1,52	1,82	1,61	1,48	1,59
1600	1,44	1,33	1,62	1,34	1,26	1,31
2000	1,27	1,18	1,41	1,15	1,18	1,12
2500	1,08	1,07	1,24	0,98	1,03	1,05
3150	0,96	0,99	1,09	0,91	0,95	0,95

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE E - Código R para interpretação gráfica dos dados

A norma BS EN (2013) orienta, na ISO 717-1, que seja comparado os resultados de medição com valores de referência, conforme Tabela 29.

Tabela 29 – Valores de referência para curva padrão

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

Fonte: BS (2013) EN ISO 717-1 (adaptado)

Com isso, é possível elaborar uma curva padrão associada aos valores de diferença padronizada de nível ponderada em código R, conforme os dados de entrada “B” na Figura 33, que apresenta a linguagem computacional utilizada para determinar o $D_{nT,w}$ das medições realizadas em campo e analisar o desempenho acústico dos ambientes.

Figura 33 - Algoritmo para determinar a diferença padronizada de nível ponderada

```

A<-c
(32.3589,42.0090,35.0481,35.7280,35.6720,36.7706,37.9191,37.6958,39.9597,41.2872,41.9072,42.5689,
43.5593,44.9997,43.9597,42.8213)#Valores de DnT
B<-c(33,36,39,42,45,48,51,52,53,54,55,56,56,56,56,56) #curva padrão
C<-c(100,125,160,200,250,315,400,500,630,800,1000,1250,1600,2000,2500,3150)
D<-log10(C)

for (i in 1:100){
  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 10
  if (B5<=32){
    break
  }
}
limy=60
plot(D, A, xlab="Frequência (Hz)", ylab="", main="Diferença padronizada de nível ponderada",
xlim=c(log10(98),log10(3150)), ylim=c(0.00,limy),pch=20,axes=FALSE)
title(ylab="DnT (dB)", line=2, cex.lab=1)
text(D,A,labels=round(A, digits=0),cex=0.75,pos=3)
axis(1, at = D, labels=C, cex.axis=.80, pos=0)
axis(2, at = seq(0.0, limy, by = 1),cex.axis=.80, pos=log10(98))
lines(D,A,lty=1,lwd=1.5, col="darkorange")
lines(D,B3,lty=1,lwd=1.5, col="indianred4")
text(D[8],B3[8],labels=paste('DnT,w=',B3[8],'dB'),cex=1.5,pos=3,offset=1)
clip(log10(98),log10(3150),0,limy)
abline(v=D, col = "snow3", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
abline(h=seq(1, limy, by = 1), col = "snow3", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
legend(x=log10(500),y=12,legend=c("DnT (dB)","Curva padrão deslocada"),col=c
("darkorange","indianred4"),lwd=1,bg='white', x.intersp=0.5,y.intersp=1,yjust=0.5,
title="Legenda",merge=TRUE,cex=0.6)
print(B5) #deve ser menor que 32
print(B3[8])

```

Fonte: Autoria Própria

Todos os gráficos gerados tiveram como base esse algoritmo, alterando apenas os valores de D_{nT} (dados de entrada "A" no código) conforme os dados apresentados anteriormente, respectivos aos cômodos analisados.

APÊNDICE F - Dados de ruído de fundo

A Tabela 30 apresenta os dados coletados pelo sonômetro do ruído de fundo dos ambientes analisados. Os valores foram organizados no *software Microsoft Excel* e foi realizado a média energética dos valores, conforme Equação 4, para comparar os resultados de forma gráfica, representada pela Figura 28.

Tabela 30 – Dados de ruído de fundo dos ambientes

Frequência (Hz)	Medição (dB)				Média energética (dB)
	Cozinha	Sala	Sala separada pelo <i>hall</i>	Quarto	
100	25,62	15,91	22,16	20,37	22,29
125	21,37	19,51	21,38	17,35	20,19
160	29,04	25,13	24,32	24,85	26,29
200	24,09	23,74	23,30	20,94	23,18
250	26,17	24,34	21,81	19,79	23,68
315	24,68	25,59	25,46	21,89	24,63
400	20,25	24,09	24,01	22,15	22,89
500	21,57	24,38	21,68	21,66	22,50
630	20,48	23,98	20,44	21,01	21,75
800	19,69	24,42	19,90	19,75	21,48
1000	21,35	22,55	20,41	19,93	21,18
1250	20,93	21,64	19,47	20,34	20,67
1600	19,72	22,48	18,20	21,71	20,84
2000	19,94	21,82	19,47	21,74	20,87
2500	19,23	19,30	17,29	18,48	18,65
3150	19,75	18,32	15,86	14,57	17,59

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE G -Análise das incertezas de medição

Para que seja realizado a análise de incerteza das medições, conforme orientação da BS (2014) descrita na EN ISO 12999-1, teve como referência análises encontradas na literatura. Rindel (2018) realizou cálculos com base em dados estatísticos e distribuição Gaussiana, determinando os valores do fator de expansão (k) através do grau de confiabilidade (GC) adotado, conforme Tabela 31.

Tabela 31 – Grau de confiança GC associados ao fator de expansão k

Fator de expansão k	Grau de confiança GC para análise bicaudal (%)	Grau de confiança GC para análise caudal (%)
1,00	68,00	84,00
1,28	80,00	90,00
1,65	90,00	95,00
1,96	95,00	97,50
2,58	99,00	99,50
3,29	99,90	99,95

Fonte: RINDEL, 2018 (adaptado)