UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL - GUARAPUAVA

ENGENHARIA CIVIL

MOISÉS ANTONIO PERES MARQUES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM SISTEMA DE VEDAÇÃO HORIZONTAL QUANTO AO RUÍDO AÉREO EM GUARAPUAVA-PR- ESTUDO DE CASO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2021

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL - GUARAPUAVA

ENGENHARIA CIVIL

MOISÉS ANTONIO PERES MARQUES

EVALUATION OF THE ACOUSTIC PERFORMANCE OF A HORIZONTAL SEALING SYSTEM AS TO AIR NOISE IN GUARAPUAVA-PR: CASE STUDY

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2021

4.0 Internacional

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

MOISÉS ANTONIO PERES MARQUES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM SISTEMA DE VEDAÇÃO HORIZONTAL QUANTO AO RUÍDO AÉREO EM GUARAPUAVA-PR: ESTUDO DE CASO.

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

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro

GUARAPUAVA

2021

MOISÉS ANTONIO PERES MARQUES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM SISTEMA DE VEDAÇÃO HORIZONTAL QUANTO AO RUÍDO AÉREO EM GUARAPUAVA-PR: ESTUDO DE CASO.

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

Data de aprovação: 01/dezembro/2021

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

Bianca Paola Comin
Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela Universidade Federal do Paraná
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Hinaylen Both
Especialista em Educação e Novas Perspectivas na Docência pela Faculdade Campo Real
Centro Universitário Campo Real

GUARAPUAVA

2021

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.Agradeço a Deus.

Agradeço especialmente à minha família, meus pais Amilcar Afonso Marques e Maria Isabel Peres , aos meus irmãos Clara e Gabriel, e a minha namorada Julia, pois acredito que sem o apoio incondicional deles seria muito difícil vencer esse desafio. Obrigado por serem tão presentes em todos os momentos da minha vida.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro, pelo apoio, tempo dedicado e compreensão durante esta etapa. Obrigado por todos os ensinamentos e experiência com que me guiou nesta trajetória.

A toda equipe responsável da Empresa Prestes Construtora , pela receptividade e apoio durante o processo das medições.

Agradeço ao meu amigo Breendown Matheus Ferreira, que partipou e colaborou na pesquisa e nas medições. A todos os meus amigos e amigas que participaram desta trajetória, em especial aos meus amigos Matheus, Bruno, Tadeu, Gabriel, Alexandre, Rafael.

A Secretaria do Curso, pela cooperação. Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

MARQUES, Moisés Antonio Peres. **Avaliação do desempenho acústico de um sistema de vedação horizontal quanto ao ruído aéreo em Guarapuava-pr:** Estudo de caso. 2021. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2021.

Visando um melhor desempenho nas edificações do país, onde pessoas passaram a usufruir ainda mais do conforto de seu lar, seja no sentido de conforto, facilidades, quantoligado ao home office, em que tal local é utilizado como ambiente de trabalho, de forma não tão adequada quanto o necessário, o conforto acústico das edificações, tornou-se uma das principais necessidades de um imóvel. Entretanto, em decorrência do crescimento vertical demasiado das cidades, edifícios são construídos com grandes proximidades e assim, aumentando de grande proporção a percepção de ruídos, em especial ruídos aéreos. Nesse sentido, decorrente da norma brasileira de desempenho (NBR 15575) de 2013, tal isolamento acústico dos imóveis tornou-se um item com requisitos pré-estabelecidos, devendo assim, serem seguidos, com fiscalização provindade órgãos públicos. Assim, ressalta a importância do estudo em questão, levando em conta um assunto atual e o crescimento no setor de construção civil, em que o mesmo tem como enfoque a análise de conjunto habitacional, construído em Guarapuava - PR. Em relação às medições, seguiram o método de engenharia realizado em campo é abordado pela NBR 15575-3 (ABNT, 2021), entre unidades de pavimentos distintos, assim sendo, foi definido o dormitório de duas unidades sobrepostas verticalmente comorecintos de medição sem qualquer tipo de mobília, desocupados. Com relação a alguns parâmetros, como os dados de nível de pressão sonora, ruído de fundo e tempo de reverberação, foram coletados. Ao comparado os resultados obtidos com exigências normativas, concluiu-se que estão classificadas como nível de desempenho mínimo. Concluindo-se assim, que o conforto ambiental para os moradores passou a ser um dos pontos primordiais na análise na hora da compra e necessita de melhor análise construtiva, pois se realizadas as melhorias após a finalização da obra, a dificuldade executiva é maior e ainda expõe aos moradores ruídos demasiados, os quais podem trazer represálias graves para saúde.

Palavras-chave: Imovél. Conforto Acústico. Isolamento. Desempenho.

ABSTRACT

MARQUES, Moisés Antonio Peres. **Evaluation of the acoustic performance of a horizontal sealing system as to air noise in Guarapuava-pr: Case study.** 2021.71 f. Work of Conclusion Course in Civil Engineering - Federal Technology University -Paraná. Guarapuava, 2021.

Aiming at a better performance in the country's buildings, where people started to enjoy even more of the comfort of their home, either in the sense of comfort, facilities, or connected to the home office, where this place is used as a work environment, in a non-as adequate as necessary, the acoustic comfort of buildings has become one of the main needs of a property. However, due to the excessive vertical growth of cities, buildings are built with great proximity and thus, greatly increasing the perception of noise, especially aerial noise. In this sense, as a result of the Brazilian performance standard (NBR 15575) of 2013, such sound insulation for properties has become an item with pre-established requirements, and must therefore be followed, with inspection coming from public bodies. Thus, it emphasizes the importance of the study in question, taking into account a current issue and the growth in the civil construction sector, in which it focuses on the analysis of a housing complex, built in Guarapuava - PR. Regarding the measurements, they followed the engineering method carried out in the field, which is covered by NBR 15575-3 (ABNT, 2021), between different floor units, therefore, the bedroom of two vertically overlapping units was defined as measurement enclosures without any type of furniture, unoccupied. Regarding some parameters, such as sound pressure level, background noise and reverberation time data were collected. When comparing the results obtained with normative requirements, it was concluded that they are classified as a minimum performance level. Thus, concluding that environmental comfort for residents has become one of the main points in the analysis at the time of purchase and needs a better constructive analysis, because if improvements are made after the completion of the work, the executive difficulty is greater and even exposes the residents to excessive noise, which can bring serious reprisals to health.

Keywords: Property. Acoustic Comfort. Isolation. Performance**.**

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Média energética das diferenças padronizadas de nível para fonte 1 e 2 38
Tabela 2 - Média energética das diferenças padronizadas de nível e incertezas ... 39
Tabela 3 - Novos valores de L para fonte de recepção 42
Tabela 4 - Dados do nível de pressão sonora para Fonte 1 55
Tabela 5 - Dados do nível de pressão sonora para Fonte 1 56
Tabela 6 - Média energética de emissão e recepção Fonte 1 57
Tabela 7 - Dados do nível de pressão sonora para Fonte 2 58
Tabela 8 - Dados do nível de pressão sonora para Fonte 2 59
Tabela 9 - Média energética de emissão e recepção Fonte 2 60
Tabela 10 - Dados do tempo de reverberação Fonte 1 61
Tabela 11 - Dados do tempo de reverberação Fonte 2 62
Tabela 12 - Grau de confiança GC associados ao fator de expansão k 66
Tabela 13 - Dados de ruído de fundo 68
Tabela 14 - Dados utilizados para correção do nível de sinal do ruído de fundo Fonte 1 69
Tabela 15 - Dados utilizados para correção do nível de sinal do ruído de fundo Fonte 2 70

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Comprimento de ondas e frequências correspondentes. 18
Figura 2 - Sonômetro 19
Figura 3 - Escala de decibéis 20
Figura 4 - Curva típica de perda na transmissão em função da frequência do som incidente 21
Figura 5 - Armadura de laje maciça antes da concretagem 24
Figura 6 - Representação de esquema de um sistema estrutural de laje maciça ... 25
Figura 7- Laje treliçada com uso de EPS 26
Figura 8 - Processos de avaliação do desempenho acústico 28
Figura 9 - Sistema de Pisos 28
Figura 10 - Sonômetro 2250 Brüel & Kjær classe 1 31
Figura 11 - DDC-100 Fonte emissora omnidirecional 32
Figura 12 - Microfone 1/2" 4189 Brüel & Kjær 33
Figura 13 - Calibrador 4231 Brüel & Kjær classe 1 33
Figura 14 - Amplificador FA501 Hypex 34
Figura 15 - Localização do Estudo de Caso 35
Figura 16 - Fachada do Estudo de Caso 36
Figura 17 - Planta Baixa do Apartamento do estudo de caso 36
Figura 18 - Caracterização do cômodo emissor 37
Figura 19 - Diferença padronizada de nível ponderada 40
Figura 20 - Análise do ruído de fundo 41
Figura 21 - Certificado de calibração do sonômetro 2250 49
Figura 22 - Certificado de calibração do calibrador 4231 50
Figura 23 - Pressão atmosférica no dia 06/10/2021 em Guarapuava 52
Figura 24 -Temperatura do ar e umidade no dia 06/10/2021 em Guarapuava 53
Figura 25 - Dados medidos por estações meteorológicas 06/10/21 53
Figura 26 - Algoritmo para determinar a diferença padronizada de nível ponderada 64

Lista de Quadros

Quadro 1 - Efeitos causados pelo ruído 14
Quadro 2 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada DnT,w 23
Quadro 3 - Esquema de sistema construtivo 43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
2 OBJETIVOS 13
2.1 Objetivo geral 13
2.2 Objetivos específicos 13
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA 14
3.1 Som e ruído 14
3.1.1 Ruído Aéreo 15
3.1.2 Ruído de Fundo 16
3.1.3 Ruído Rosa 16
3.1.4 Ruído de Impacto 16
3.1.5 Frequência 17
3.1.6 Período 17
3.1.7 Amplitude 17
3.1.8 Tempo de reverberação 18
3.2 Nível de pressão sonora 19
3.2.1 Decibel 20
3.3 Lei das Massas 21
3.4 Sistema Massa-mola-massa 22
3.5 Sistema de Vedações Horizontais 22
3.5.1 Lajes Maciças 24
3.5.2 Lajes Pré-Moldadas 25
4 METODOLOGIA 27
4.1 Médias Energéticas do Procedimento-Padrão 29
4.2 Equipamentos 31
4.2.1 Materiais 31
5 ESTUDO DE CASO 35
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES 38
7 CONCLUSÃO 44
REFERENCIAS 45
ANEXO A - Certificados de calibração dos materiais utilizados 48
ANEXO B - Condições climáticas durante as medições 51
APÊNDICE A - Dados fornecidos pelo sonômetro 54

APÊNDICE B - Código R para interpretação gráfica dos dados 63
APÊNDICE C - Análise das incertezas de medição 65
APÊNDICE D - Dados de ruído de fundo..... 67

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento das cidades e de seu número de habitantes houve um aumento significativo no nível de ruídos dos ambientes urbanos. A poluição sonora pode causar inúmeros efeitos à saúde humana como problemas auditivos, e efeitos cumulativos causadores de estresse, hipertensão e infarto. Além de efeitos socioculturais, estéticos e econômicos, como o isolamento social, queda da qualidade acústica na vizinhança e ainda a desvalorização dos imóveis (RIBAS; SCHMID; RONCONI, 2010).

No que se refere ao conforto acústico, em residências unifamiliares, e multifamiliares, a satisfação do usuário é um fator de importância. Em uma pesquisa realizada com 923 usuários de unidades residenciais, com índice de resposta obtido de 17,9%, por Brown (2016), verificou-se que 90% das pessoas relataram alguma reclamação em relação ao desempenho acústico das suas residências evidenciando a necessidade de estudos sobre o assunto.

Visando um melhor desempenho nas edificações do país, a Associação Brasileira de Normas Técnicas desenvolveu a NBR 15575 que faz recomendações acerca de sete requisitos afim de garantir habitabilidade destas: estanqueidade da água; desempenho térmico; desempenho acústico; desempenho lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; conforto Tátil e antropo dinâmico.

Partindo desse pressuposto, faz-se necessário o estudo e avalição dos quesitos que envolvem o conforto acústico para garantir uma avaliação positiva em fatores pós construtivos e viabilizar o emprego de novas técnicas e tecnologias nesse assunto.

Sendo assim esse trabalho irá realizar um estudo de caso, seguindo a norma ABNT 15575-3 para verificar se um apartamento de um conjunto habitacional unifamiliar atende os requisitos de conforto acustico propostos pela mesma.

2 OBJETIVOS

A seguir serão traçados o objetivo geral e os objetivos específicos, focos do trabalho em questão.

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho acústico quanto ao ruído aéreo de sistemas de vedações horizontais (SVH) em uma edificação na cidade de Guarapuava-PR.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar os sistemas construtivos do SVH da habitação escolhida como estudo de caso;
- Caracterizar o desempenho do isolamento acústico dos SVH quanto a Norma de Desempenho de Edificações, NBR 15775;
- Especificar soluções construtivas para melhorar os níveis de desempenho dos SVH quanto ao isolamento acústico.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Esse capitulo tem como objetivo apresentar tópicos e assuntos relacionados diretamente com conceitos de acústica, como som, ruído, nível de pressão sonora, além de apresentar aspectos construtivos que os envolvem.

3.1 Som e ruído

A definição de som e ruído fisicamente é a mesma: trata-se de uma onda mecânica gerada por vibrações através de um meio, por exemplo as nossas cordas vocais. Porém normalmente ruído como sendo um som indesejado. Segundo Bistafa (2018) os ruídos na grande maioria das vezes geram efeitos adversos e em níveis elevados podem levar a perda de audição e outros danos fisiológicos, como aumento de pressão arterial, e psicológicos (por exemplo: incômodos, perturbação do sono, stress, tensão, e ainda dependendo da intensidade até falhas estruturais). O Quadro 1 apresenta alguns efeitos negativos causados pela exposição ao ruído.

Quadro 1 - 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).

Também existem aplicações em que o ruído é utilizado no combate de outro ruído ainda mais perturbador. Essa técnica é conhecida como mascaramento sonoro, onde ruídos de baixa intensidade são utilizados para mascaram outros sons, tornando-os

menos desagradáveis.

A onda sonora é caracterizada por vários aspectos como timbre, intensidade e altura.

O timbre está relacionado à composição harmônica da onda, isso permite identificar a origem do som. A intensidade do som diz respeito à amplitude da onda sonora, caracterizando a variação de pressão do meio em que se verifica a sua propagação, e sendo medida por meio da potência sonora. A altura está relacionada com a frequência do som, ou seja, sequência das vibrações sonoras (COSTA, 2003).

Como já mencionado, o ruído é qualquer fonte sonora que atrapalhe de alguma forma em um local interno ou externo. Porém, a partir dele são analisados alguns dos fatores que influenciam no condicionamento acústico de uma edificação. Ao considerar o ruído como parâmetro de projeto, verifica-se que não necessariamente precisaríamos extingui-lo e normalmente não é o objetivo, pois um ambiente que passe a sensação de total privação pode ser perturbador, além de caro.

> Entretanto esse conceito é muito subjetivo, uma vez que o que é considerado ruído para algumas pessoas pode ser entendido como som para outras: uma banda de música, por exemplo! Tecnicamente pode-se dizer que o ruído é uma oscilação intermitente/aleatória(...) (CARVALHO, 2010, pg.41)

3.1.1 Ruído Aéreo

Originados inicialmente no ar, sendo causados por buzinas, equipamentos de construção, veículo, instrumentos musicais, sons de animais, voz humana, entre outros, além de se propagar no ar, os ruídos aéreos alastram-se nos elementos da edificação como um todo.

Ao ser exposto ao som, o elemento construtivo é forçado a vibrar, em decorrência da variação de pressão existente, sendo que a facilidade de tal vibração ocorrer é inversamente proporcional à sua massa, de forma geral. Nesse sentido, quanto maior a massa do elemento, menos ele vibrará, transmitindo assim um ruído menor.

Os ruídos podem ter origem devido a ações externas ou internas da edificação. Os principais elementos responsáveis pela transmissão de ruídos aéreos para o interior de um ambiente são janelas, portas, paredes, pisos, tetos, frestas e/ou fendas existentes no ambiente (SOUZA *et al.*, 2012).

3.1.2 Ruído de Fundo

Também conhecido como ruído residual é o ruído produzido no interior de determinado ambiente consequente de atividades nele mesmo elaboradas (REZENDE et al., 2014).

Para ambientes comuns, como quartos, o qual é o foco dessa pesquisa, o ideal é a redução da intensidade sonora transmitida para dentro dos ambientes, sem extinção total do ruído de fundo (SOUZA et al., 2012).

3.1.3 Ruído Rosa

Esse ruído possui características similares ao de alguns equipamentos, como uma televisão fora de sintonia, e é indicado para análise de sistemas acústicos, pois garante uma energia constante no sistema, podendo ser base para comparações dos resultados obtidos com bandas diferentes (BISTAFA, 2018).

3.1.4 Ruído de Impacto

Os ruídos de impacto são resultantes de forças impostas diretamente sobre estruturas que podem gerar vibrações em sólidos (SOUZA, ALMEIDA E BRANGANÇA, 2006), podendo citar como exemplo a queda de objetos, barulho de passos sobre o piso, entre outros. O impacto sobre uma laje, por exemplo, promove além do ruído decorrente da sua vibração, excitação do sistema estrutural do edifício e de suas paredes, gerando dessa forma fontes secundárias de ruído (CARVALHO, 2010).

3.1.5 Frequência

Bistafa (2018) diz que a frequência indica o número de períodos que existem em um segundo e ressalta que na acústica é usualmente é trabalhado com o inverso do período, onde pode ser obtido a frequência (f), definida como Equação 1:

$f = \frac{1}{T}$, dada em Hertz (Hz) Equação 1

Onde:

T =período, em segundos (s)

O ouvido humano não é capaz de ouvir todos os sons da natureza, apenas em faixas de frequência situadas entre 20Hz a 20.000Hz. Essas faixas são classificadas em baixas frequências, entre 20 Hz e 200 Hz; médias frequências, de 200 Hz a 2.000 Hz; e altas frequências, de 2.000 Hz a 20.000 Hz (PROACÚSTICA, 2019).

3.1.6 Período

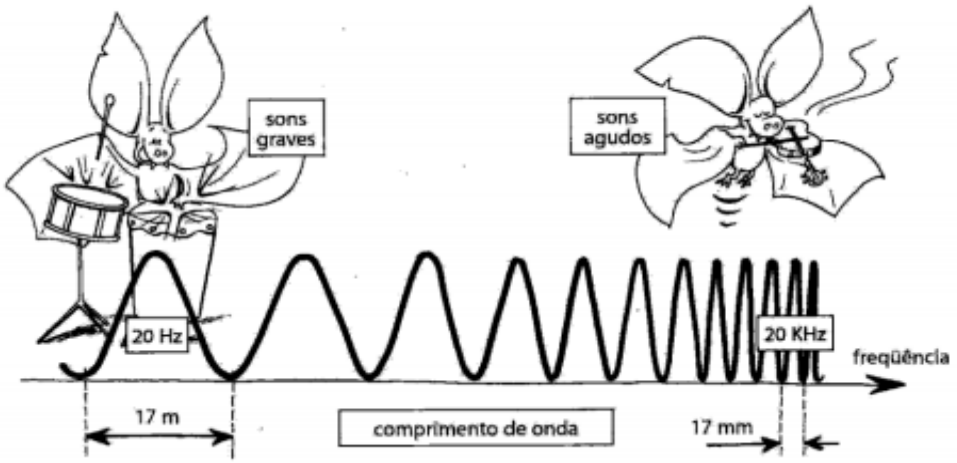
Bistafa (2018) define período (T), como sendo o intervalo de tempo decorrido para que um ciclo se complete na curva de variação da pressão ambiente com o tempo. Quando a variação da pressão ambiente for cíclica, com período "T" compreendido entre T1 e T2, e quando a amplitude (A) for maior que o limiar da audibilidade, o sistema auditivo detectará som.

3.1.7 Amplitude

A amplitude também é conhecida como volume do som. Quando é dito que o som está muito alto na verdade isso diz respeito à frequência. Um som é alto trata-se de um som agudo, como demonstrado na Figura 1. Já a intensidade do som está diretamente relacionada à amplitude, quanto maior a intensidade, maior será sua amplitude.

> Para que fique claro, destaca-se aqui a diferença entre altura e intensidade, em que a primeira se refere ao número de oscilações (frequência) e a segunda, à amplitude. A expressão popularmente utilizada "aumentar o volume" de um som é, na prática, aumentar sua intensidade, e não sua altura. (SOUZA, ALMEIDA E BRANGANÇA, 2006, pg. 26).

Figura 1 - Comprimento de ondas e frequências correspondentes.



Fonte: (SOUZA, ALMEIDA E BRANGANÇA, 2006, p.27)

3.1.8 Tempo de reverberação

Segundo Carvalho (2006), a reverberação é o prolongamento necessário de um som emitido, a título de sua compreensibilidade em locais mais afastados da fonte produtora. Ocorrendo, basicamente, em recintos fechados, esse prolongamento deve ser maior quanto maior for a distância entre a fonte e a recepção, ou quanto maior for o volume interno do recinto.

De acordo com Santos (2005), o tempo de reverberação quantifica a absorção acústica dos ambientes e é definido como o tempo necessário para a energia sonora decair um milhão de vezes em relação à energia inicial, ou seja, é o tempo que leva para que o nível de pressão sonora diminua em 60 dB e para que as ondas sonoras deixem de ser percebidas. A reverberação é um fenômeno ocorrido em ambientes fechados, tendo importância na avaliação da sonoridade de salas de aula, auditórios, teatros, salas de concerto, etc (SANTOS, 2005).

3.2 Nível de pressão sonora

Pressão é definida como o ato de comprimir ou pressionar algo, em física é uma razão entre a força (F) e área (A) da superfície. Quando pensamos em pressão sonora, ela é a medida de energia do som emitida por uma fonte de ruído e base do estudo som, sua unidade de medida é dada em decibéis (dB) (Silas, 2018).

A medição dos níveis de som é uma das principais atividades para avaliar os problemas de ruído de um ambiente. Para isto é utilizado um sonômetro, conforme Figura 2, de acordo com as normas. Como dito em antes em outras partes deste trabalho uma exposição prolongada ao ruído pode resultar em mudanças psicológicas e fisiológicas.

No Brasil a norma regulamentadora NR15 indica que o nível de pressão sonora não deve ultrapassar 85dB, em até oito horas de trabalho ininterruptas. Em alguns outros países esse valor é mais baixo, sendo mais rígidos com a questão do ruído (Remorini, 2018).

Figura 2 - Sonômetro

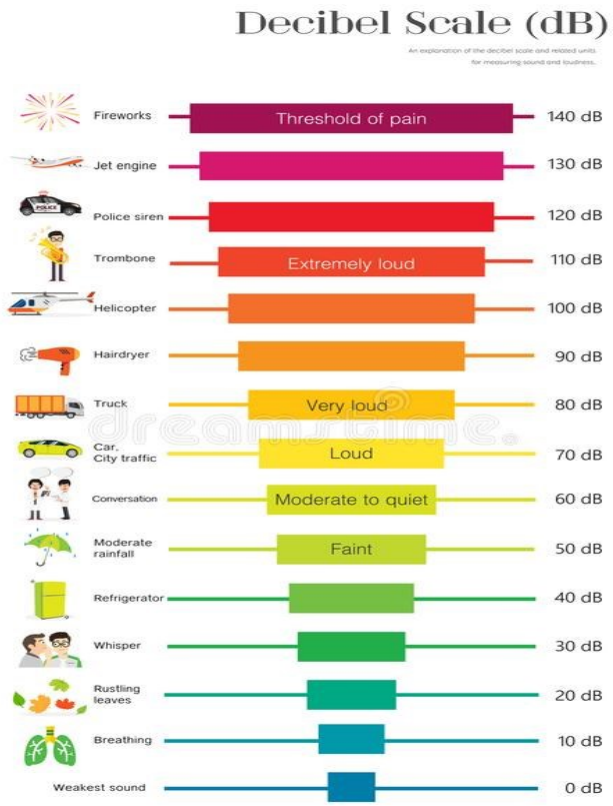
Fonte: Instrutherm (2021)

3.2.1 Decibel

O Decibel (dB) é uma unidade de medições de níveis de ruídos. É difícil obter um valor objetivo que se aproxime ao máximo possível da percepção do ouvido humano uma vez que este varia de pessoa para pessoa (CARVALHO, 2010). Por isso utiliza-se uma relação logarítmica tendo como valor de referência uma potência de som audível muito pequena (mínimo audível da ordem de 10^{-12} W). Já a faixa de pressão que provoca a sensação auditiva é larga, pois enquanto o limiar de audição corresponde a 0,00002 N/m², o limiar da dor é considerado como 200 N/m². Além disso, a audibilidade não é linear, pois dobrando-se o valor da pressão, o ouvido não irá perceber o som como sendo duas vezes mais intenso (SOUZA, ALMEIDA E BRANGANÇA, 2006).

Para medir o nível de intensidade sonora (NIS) e o nível de pressão sonora (NPS), utiliza-se a unidade de medida o decibel (SOUZA, ALMEIDA E BRANGANÇA, 2006). Pode se observar uma representação de uma escala na Figura 3.

Figura 3 - Escala de decibéis



Fonte: Dreamstime (2021)

3.3 Lei das Massas

A Lei das Massas é utilizada quando faltam informações precisas sobre os índices de isolamento acústico de determinado material e é obtida de forma empírica. Segundo a lei, o isolamento característico de uma laje está ligado à sua massa, sendo que para gerar um acréscimo de 6 dB é necessária a duplicação dessa para gerar o acréscimo de isolamento da superfície (CARVALHO, 2006).

O parâmetro utilizado para determinar o isolamento de uma parede é a perdade transmissão (PT), expresso pela Equação 2:

$$PT = 20\log(ff \times M) - 47\ dB \qquad \text{Equação 2}$$

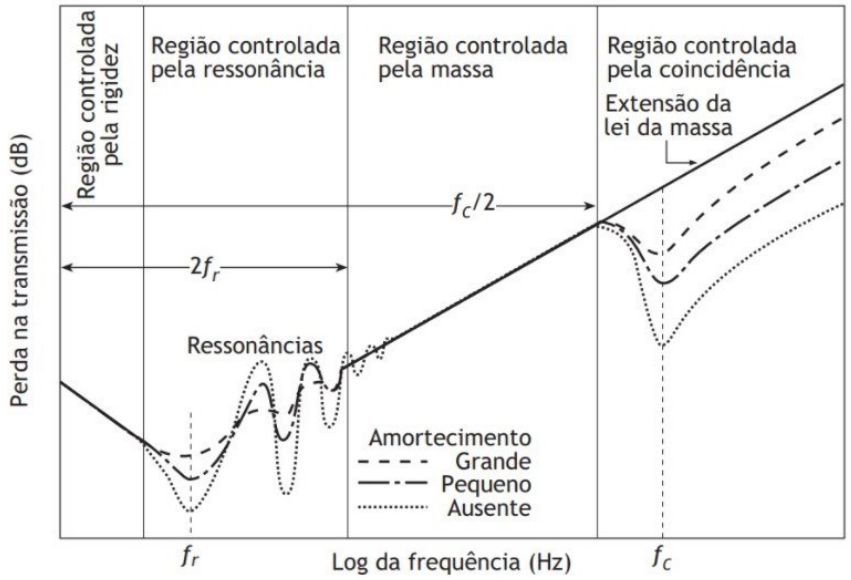
Onde:

f é a frequência do som incidente (Hz);

M é a densidade superficial da parede (kg/m²).

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

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



Fonte: Bistafa, (2018)

3.4 Sistema 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. Um sistema compostode 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).

3.5 Sistema de Vedações Horizontais

De acordo com a Proacústica (2019), a transmissão de ruído entre duas unidades habitacionais sobrepostas em uma edificação ocorre através do próprio sistema de piso (via de transmissão direta) e os elementos laterais ou paredes (vias de transmissão indireta). Quem determina essas transmissões são as soluções construtivas, as uniões entre elas e a geometria dos recintos. Por isso, o desempenho de isolamento ao ruído aéreo entre dois ambientes separados por um sistema de pisos de um edifício (DnT, w), tende a ser inferior ao desempenho do mesmo sistema de piso ensaiado em laboratório (Rw).

> As unidades habitacionais autônomas são separadas em diferentes pavimentos através do sistema de pisos. Esse sistema precisa garantir um desempenho adequado de isolamento acústico aéreo (conversações, TV, música, etc.) e de impacto (passos, queda de objetos, arrastar de móveis, etc.) (PROACUSTICA, 2017).

Tem–se descrito na Norma de Desempenho NBR 15.575-3 (ABNT,2013) que o

sistema de piso é composto sempre por laje, sejam essas de diferentes tipos como pré-moldada, nervurada, treliçada, concreto armado, etc. E de elemento opcional, o contrapiso.

Existem limites mínimos dos ruídos aéreos estabelecidos pela NBR 15.575 sendo definidos pelo quadro a seguir:

Quadro 2 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada DnT,w

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos. Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde não haja dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns coletivo, para atividade de lazer e esportivas, tais como *home theather*, salas de ginastica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Fonte: Norma ABNT 15575 (2021)

Os valores em negrito são normativos, ou seja, obrigatórios, e os demais são informativos, O índice D'nt,w representa o isolamento aos ruídos aéreos medidos em obra, já o Rw representa o isolamento medido em laboratório do mesmo sistema, ocorre dos valores serem diferentes decorrente das condições estruturais e executivas.

As normas ISO 140-4 e ISO 10052 especificam a metodologia de medição. A mesma está baseada na emissão de ruído em um dos recintos através de uma fonte sonora omnidirecional, e medição dos níveis de pressão sonora em bandas de frequência neste recinto (emissor) e no recinto próximo (receptor).

Como requisito deve ser avaliado o isolamento de som aéreo de ruídos de uso normal (fala, TV, conversas, música) e uso eventual (áreas comuns, áreas de uso coletivo).

Ao medir, devem ser avaliados os dormitórios da unidade habitacional, sendo necessária a utilização de um dos métodos na norma para a determinação dos valores da diferença padronizada de nível ponderada, $D'_{nt,w}$.

As medições devem ser realizadas com portas e janelas dos ambientes fechadas, tais como foram entregues pela empresa construtora ou incorporadora.

3.5.1 Lajes Maciças

São chamadas lajes maciças as lajes de concreto que possuam uma espessura constante, feita no própria obra com o lançamento do concreto em formas planas podendo possuir mais de um modelo, e são executadas com o apoio de escoras para apoio da estrutura, onde é feita a locação das armaduras, podendo ser apoiadas em todas as direções ou em duas direções. Após isso, é feito a locação dos eletrodutos e caixas de passagem para instalações elétricas e hidráulicas e então a concretagem, como podemos observar na Figura 5.

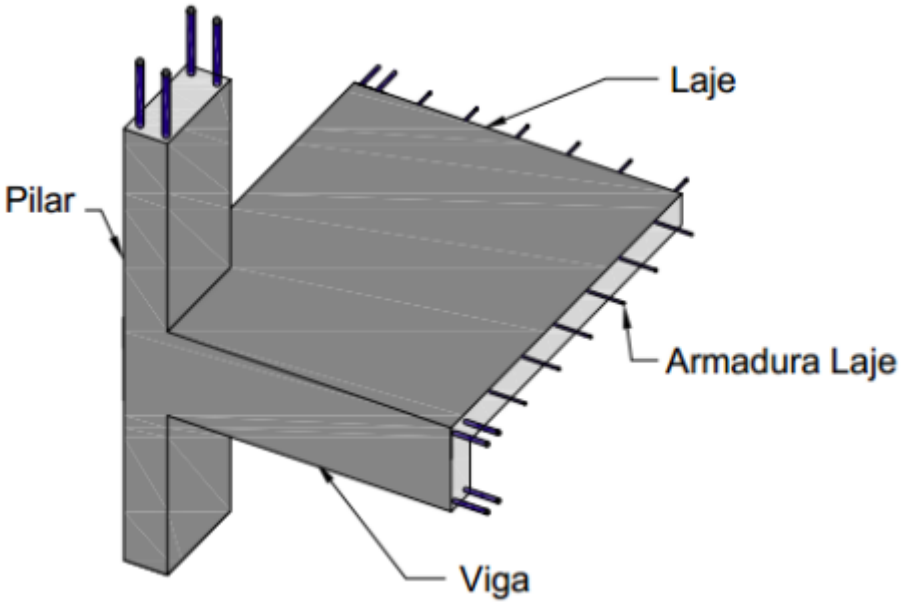
Figura 5 - Armadura de laje maciça antes da concretagem

Fonte: Habitissimo (2021)

Um sistema convencional de estrutura de concreto armado é aquele composto

por lajes maciças, pilares e vigas, sendo que as lajes recebem os carregamentos oriundos da utilização, então serão através dessas que as vibrações que causarão ruídos vão ser transmitida. Na figura 6 a seguir podemos ver um esquema de laje.

Figura 6 - Representação de esquema de um sistema estrutural de laje maciça



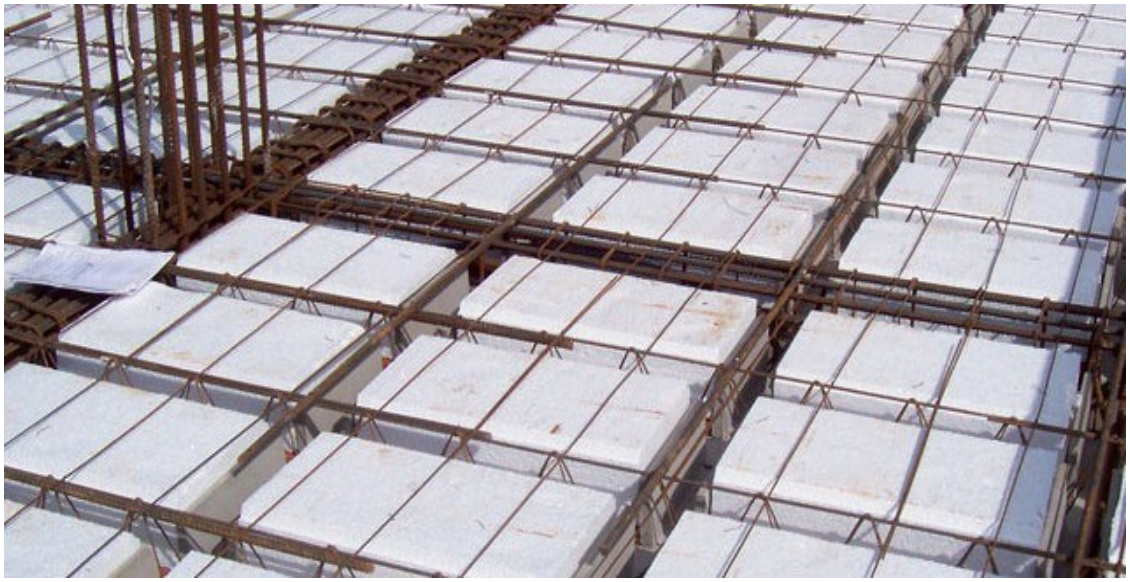
Fonte: Spohr (2008, pg.30)

3.5.2 Lajes Pré-Moldadas

São lajes pré-fabricadas produzidas por meio de processos industriais e possuem uma montagem unidimensional. Por ter os moldes pré-fabricados, acabam tendo um custo reduzido e tem sua instalação facilitada.

Uma das opções mais interessantes nesse modelo seriam as lajes treliçadas com uso de EPS, também conhecida como laje pré-moldada isopor, pois oferecem uma estrutura leve, fácil montagem e instalação de materiais elétricos, tubulações. Além disso o principal ponto seria a melhora que esse modelo oferece em relação ao isolamento, acústico e térmico do imóvel devido a presença do EPS, podemos observar um exemplo na Figura 7.

Figura 7- Laje treliçada com uso de EPS



Fonte: Refran (2021)

Pensando no fator do custo, ao se realizar uma obra de pequeno a médio porte, como edifícios de até quatro andares, no estado do Paraná, apenas na parcela da obra que se refere a lajes, a laje maciça simples é até 25% mais onerosa do que laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas (Brandalise, Wessling, 2015).

4 METODOLOGIA

O objetivo desse capítulo é fazer a exposição das metodologias usadas na análise de caso, abordado no presente trabalho, atendendo aos objetivos propostos.

Primeiramente, tal estudo teve como objetivo contextualizar o tema, a partir da leitura e análise artigos, livros, manuais e normas da área, a fim de agregar conhecimentos teóricos relacionados a tal pesquisa.

Após isso, foi iniciada a elaboração do procedimento metodológico de medição do isolamento acústico de ruídos aéreos, para o sistema construtivo de vedação horizontais, entre pisos. Para efetuar as medições de ruído aéreo entre ambientes da mesma unidade, e entre unidades autônomas separadas por vedação vertical, e por piso, serão usadas as normas de medição de campo já previamente definidas pela NBR 15.575, sendo feita também a medição de ruído aéreo da fachada.

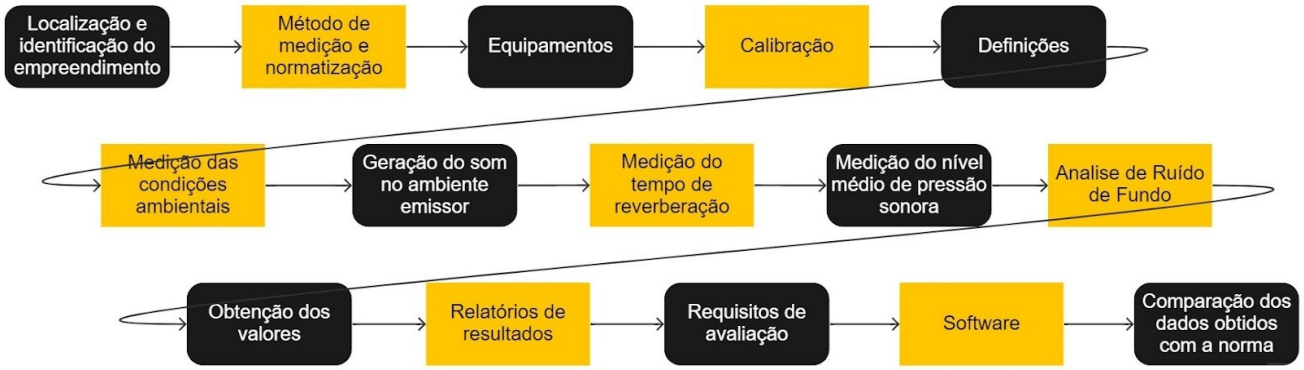
Em decorrência da possibilidade prevista na NBR-15.575 (2021) de utilizar métodos diversificados de medição, e considerando o método de engenharia como o mais adequado, de acordo com as incertezas geradas pelos resultados para o método de controle, o melhor método para tal é o de engenharia.

Ao levantar as normas necessárias para realização das medições pelo método definido, o método de engenharia, é visto que para verificar a diferença padronizada de nível ponderada para isolamento acústico (DnT,w), a ruídos aéreos entre recintos e entre pisos, será necessária a aplicação da ISO 16.283-1 (2018), para substituir a ISO 140-4 (1998).

O empreendimento foi identificado e localizado, assim como os respectivos apartamentos medidos. As medidas da umidade do ar, temperatura ambiente e ruído de fundo foram obtidas através de medições. Para facilitar o entendimento serão especificados os equipamentos que serão utilizados.

Abaixo no fluxograma representado pela Figura 8, podem ser vistos os itens envolvidos na avaliação do desempenho acústico sonoro:

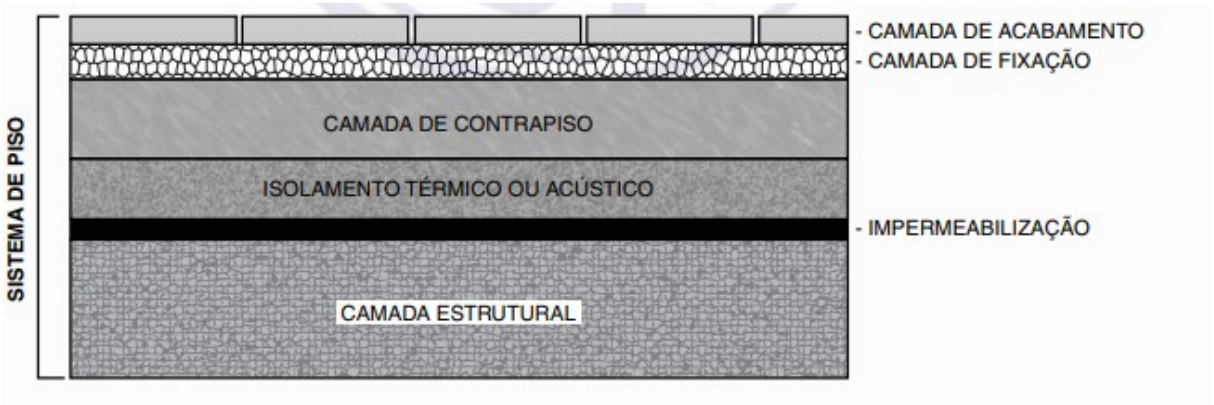
Figura 8 - Processos de avaliação do desempenho acústico



Fonte - Autoria própria (2021)

Foram realizadas medições globais para as situações que envolviam o Sistema de Pisos, conforme Figura 9.

Figura 9 - Sistema de Pisos



Fonte- ABNT NBR 15575-3 (2021)

As medições em campo tiveram como base o método de engenharia, orientado pelas normas ABNT (2021) na NBR 15575-3 e ABNT (2018) na NBR ISO 16283-1. Foram realizadas análises, por meio de medições *in situ* do nível de pressão sonora, do tempo de reverberação e do ruído de fundo.

A medição foi realizada entre unidades de pavimentos distintos. Assim sendo, foi definido o dormitório de duas unidades sobrepostas verticalmente como recintos de medição, utilizando uma única fonte sonora em duas posições distintas,

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 interrompido com duas posições de fonte e seis posições de microfone para cada posição de fonte, totalizando doze medições. Ainda, foram realizadas três medições no cômodo receptor do ruído de fundo. Os valores obtidos abaixo de 100 Hz e acima de 3150 Hz foram desconsiderados por serem apenas informativos, conforme orientação da BS (2013) EN ISO 717-1.

4.1 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:

- Transportar os dados do sonômetro para uma planilha;
- Realizar uma média energética dos níveis de pressão sonora de cada medição, de 100 Hz a 3150 Hz, conforme Equação 3;

$$L_{ener} = 10 \times log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} 10^{L_i/10}\right) \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:

L_{ener} é a média energética dos níveis de pressão sonora, em dB;

$L_1, L_2, \ldots, L_n$ são os níveis de pressão sonora em n diferentes posições de microfone, em Db;

- Realizar a média aritmética simples dos tempos de reverberação medidos, de 100 Hz a 3150 Hz, conforme Equação 4;

$$\overline{TR} = \frac{TR_1 + TR_2 + \cdots TR_n}{n} \qquad \text{Equação 4}$$

Onde:

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.

- Calcular a diferença padronizada de nível para cada medição de fonte sonora, conforme Equação 5;

$$D_{nT} = L_{ener,1} - L_{ener,2} + 10log\left(\frac{T}{T_0}\right) \qquad \text{Equação 5}$$

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 é a média do tempo de reverberação na sala de recepção, em segundos;

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

- 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, $D_{nT,ww}$, em dB. Com isso, é possível comparar o desempenho acústico do cômodo analisado com o recomendado pela norma brasileira de desempenho.

4.2 Equipamentos

Este trabalho refere-se a uma pesquisa aplicada, segundo Fellows e Liu (2015), pois foram utilizados 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.

4.2.1 Materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram:

- Código R, comando em linguagem computacional, gerando gráficos que se encontram no tópico 7 do trabalho;
- Sonômetro Tipo 2250 da marca *Brüel & Kjær*, classe 1, conforme Figura 10, calibrado pelo Inmetro, conforme ANEXO A;

Figura 10 - Sonômetro 2250 *Brüel & Kjær* classe 1

Fonte: Autoria própria (2021)

- DDC-100, fabricante Grom fonte sonora de alta potência construída com alto-falantes dispostos em um dodecaedro regular, conforme Figura 11.

Figura 11 - DDC-100 Fonte emissora omnidirecional

Fonte: Autoria própria (2021)

- Microfone fixo capacitivo 1/2" modelo 4189 do fabricante *Brüel & Kjær*, conforme Figura 12;

Figura 12 - Microfone 1/2" 4189 *Brüel & Kjær*

Fonte: Autoria própria (2021)

- Calibrador de nível sonoro modelo 4231 do fabricante Brüel & Kjær, classe 1, conforme Figura 13, com certificado de calibração conforme ANEXO A;

Figura 13 - Calibrador 4231 *Brüel & Kjær* classe 1

Fonte: Autoria própria (2021)

- Amplificador modelo FA501 do fabricante *Hypex*, conforme Figura 14, com potência máxima de 650 W;

Figura 14 - Amplificador FA501 Hypex

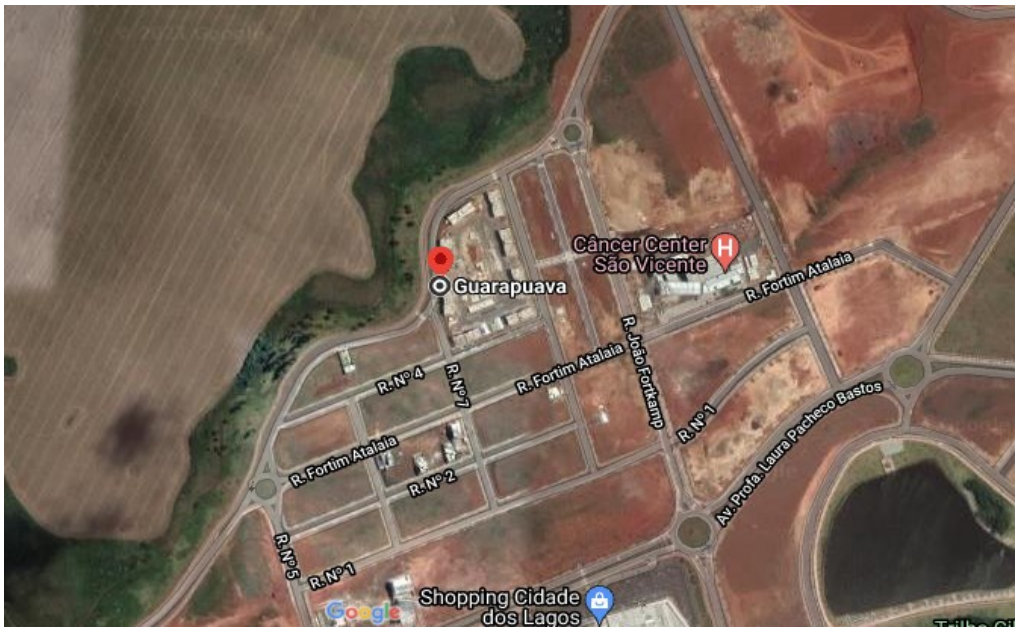
Fonte: Autoria própria (2021)

- *Software Audacity* para emissão de ruído rosa durante as medições;
- *Software Microsoft* Excel para compilar e analisar os dados obtidos.
- *Software R Studio* para análise dos resultados.

5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado no Residencial Vista Cidade dos Lagos, localizado na cidade na Guarapuava-PR, no bairro Cidade dos Lagos. A construção conta 8 torres e unidades com 1, 2 e 3 dormitórios. No estudo foram selecionados 2 apartamentos de 2 dormitórios, com proximidade da rua para que houvesse maior presença de ruído. Os resultados dos ensaios em questão, foram obtidos em ambientes desocupados, cômodos os quais estão caracterizados posteriormente, com as portas e janelas fechadas durante toda a medição. Ensaios realizados em dias úteis e horário comercial, com condições climáticas apresentadas no ANEXO B. As caracterizações de localização do empreendimento, fachada e planta estão caracterizadas nas figuras a seguir.

Figura 15 - Localização do Estudo de Caso



Fonte: Google Maps (2021)

Figura 16 - Fachada do Estudo de Caso

Fonte: Prestes Construtora (2021)

Figura 17 - Planta Baixa do Apartamento do estudo de caso

Fonte: Prestes Construtora (2021)

Figura 18 - Caracterização do cômodo emissor

Fonte: Autoria Própria (2021)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados coletados pelo sonômetro da medição 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 para a posição de fonte sonora 1 e 2 respectivamente apresentadas.

Tabela 1 - Média energética das diferenças padronizadas de nível para fonte 1 e 2

Frequência (Hz)	DnT,1	DnT,2	DnT médio
100	34.90	37.96	36.17
125	37.20	36.53	36.85
160	36.08	36.55	36.31
200	42.20	40.99	41.56
250	35.90	39.91	37.46
315	43.41	42.57	42.97
400	45.17	44.34	44.74
500	44.73	44.00	44.35
630	46.64	46.04	46.33
800	49.84	48.85	49.32
1000	52.19	50.71	51.38
1250	52.15	50.47	51.23
1600	50.07	49.08	49.55
2000	52.09	51.34	51.70
2500	54.02	53.20	53.59
3150	55.03	52.34	53.48

Fonte: Autoria própria (2021)

Na Tabela 2 estão representada as médias energéticas entre as diferenças padronizadas de nível e as considerações de incerteza demedição.

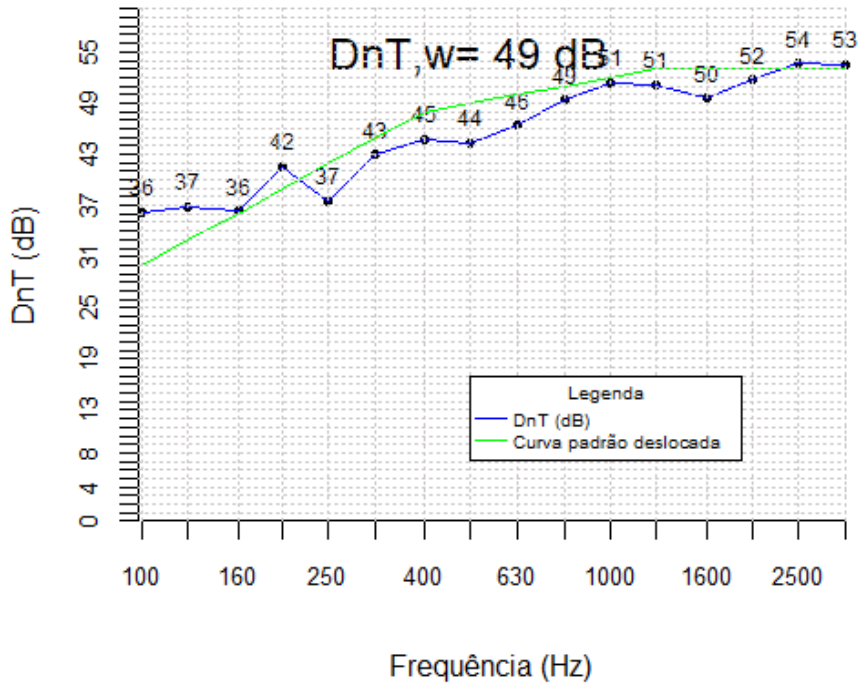
Tabela 2 - Média energética das diferenças padronizadas de nível e incertezas

Frequências	DnT	Incerteza	Incerteza expandida (U)	DnT,w	DnT,w±U
100Hz	36.17	±2.8	±4.62		
125Hz	36.85	±2.4	±3.96		
160Hz	36.31	±2	±3.3		
200Hz	41.56	±1.8	±2.97		
250Hz	37.46	±1.6	±2.64		
315Hz	42.97	±1.4	±2.31		
400Hz	44.74	±1.2	±1.98		
500Hz	44.35	±1.1	±1.82	49	49±1,485
630Hz	46.33	±1	±1.65		
800Hz	49.32	±1	±1.65		
1kHz	51.38	±1	±1.65		
1.25kHz	51.23	±1	±1.65		
1.6kHz	49.55	±1	±1.65		
2kHz	51.70	±1	±1.65		
2.5kHz	53.59	±1.3	±2.15		
3.15kHz	53.48	±1.6	±2.64		

Fonte: Autoria própria (2021)

O resultado da Tabela 2 está sintetizado graficamente, conforme apresentado pela Figura 18 , com base no código R descrito no APÊNDICE B.

Figura 19 - Diferença padronizada de nível ponderada



Fonte: Autoria própria (2021)

As médias energéticas entre as diferenças padronizadas de nível do cômodo estão apresentadas na Tabela 2, bem como as incertezas de cálculo. Os valores das incertezas (I) foram retirados da BS (2014) na EN ISO 12999-1, considerando a situação de medição em campo ($\sigma siitu$). 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 6.

$$U = 1{,}65 \times I \qquad \text{Equação 6}$$

Onde:

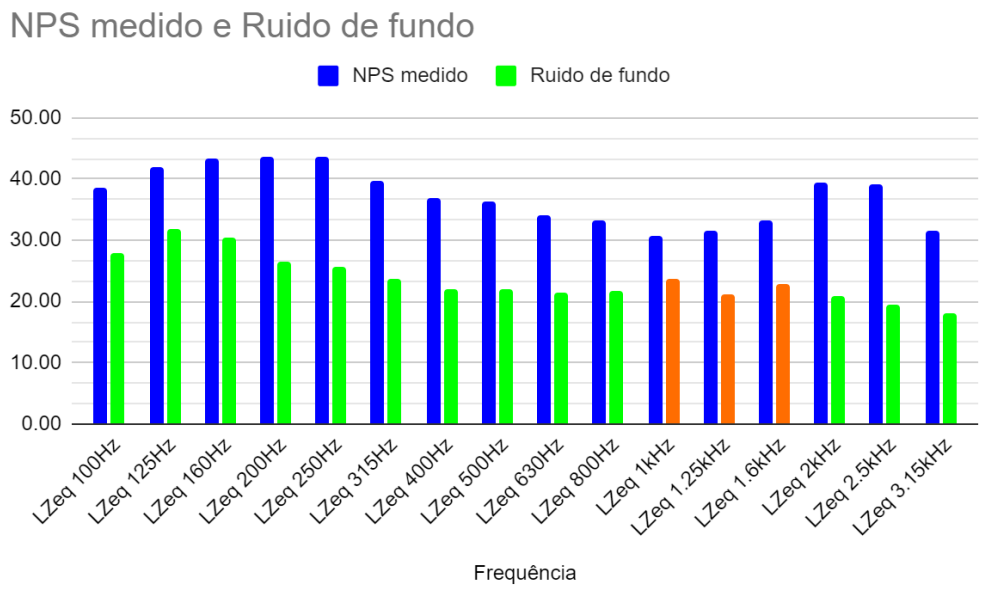
1,65 corresponde ao fator de expansão (k) para grau de confiança (GC) de 90%, conforme APÊNDICE C;

I é a incerteza.

A análise resulta no valor de 49 $\pm$ 1,485 dB, conforme procedimento de avaliação de incertezas de medição descrito no tópico anterior, considerando as mesmas condições de confiabilidade. Ao comparar ao Quadro 2, conclui-se que o quarto está de acordo com a recomendação da norma brasileira de desempenho.

O ruído de fundo também foi medido em todos os cômodos, 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 não ocorreu em todas as situações, conforme apresentado pelo gráfico da Figura 20,com base nos dados contidos no APÊNDICE D.

Figura 20 - Análise do ruído de fundo



Fonte: Autoria própria (2021)

Como nem todos os resultados foram superiores a 10 dB, houve necessidade de correção do nível de pressão sonora para o ruído de fundo (ABNT, 2018), para isso foi utilizado a equação 7:

$$L_2 = 10\lg(10^{L_{sb}/10}-10^{L_b/10}) \qquad \text{Equação 7}$$

Onde:

L_2 é o nível do sinal ajustado, expresso em decibels (dB);

L_{sb} é o nível do sinal e do ruído de fundo combinados, expresso em decibels (dB);

L_b é o nível de ruído de fundo, expresso em decibels (dB);

Obtemos assim os novos valores de *L,* conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Novos valores de L para fonte de recepção

Frequência (Hz)	Novo L na fonte 1 - recepção	Novo L na fonte 2 - recepção
100	54.47	51.33
125	61.96	63.12
160	58.84	58.78
200	43.02	43.22
250	49.44	48.40
315	46.98	48.44
400	45.95	47.13
500	43.40	43.33
630	38.06	37.97
800	33.15	34.51
1000	30.40	31.14
1250	29.74	31.86
1600	31.33	32.23
2000	38.23	38.83
2500	39.91	40.04
3150	32.17	35.06

Fonte: Autoria própria (2021)

A partir dos resultados apresentados, podemos observar que os apartamentos atendem a norma NBR 15.575 apenas com o contrapiso bruto e laje maciça, porém é possível verificar pontos que podem ser melhorados a fim de se obter um melhor desempenho acústico da unidade habitacional.

A substituição das esquadrias por esquadrias antirruído, por serem mais robustas e possuírem caixilhos de maior isolamento, de PVC ou madeira. A utilização de um contra piso flutuante funcionando no sistema de massa-mola-massa, melhorando o isolamento, consequentemente, menor será o ruído transmitido, um esquema interessante seria Contrapiso de argamassa comum 5cm + laminado de madeira 7mm, com manta polietileno expandido 2mm, utilizando concreto expandido na espessura de 10cm,

confome esquema representado no Quadro 3.

Quadro 3 - Esquema de sistema construtivo

Tipo de Laje	Revestimento
Concreto Maciço 10cm	Contrapiso de argamassa comum 5cm + laminado de madeira 7mm, com manta de fibras de polipropileno 5mm
Concreto Maciço 10cm	Contrapiso de argamassa comum 5cm + laminado de madeira 7mm, com manta polietileno expandido 2mm

Fonte - Autoria própria (2021)

Existem estudos que indicam que a utilização de um contrapiso de argamassa com brita leve 4cm (1:2:3) + porcelanato que garantiriam a classificação intermediaria da na norma de desempenho (Nunes, M.F.O.; Zini, A.; Pagnussat, D.T., 2014).

Por fim, se o conjunto habitacional em estudo ainda estivesse em fase de projeto, soluções mais práticas seriam: aumentar a espessura da laje visto que quanto maior a massa de um item, menor sua capacidade de vibração e, consequentemente, menor será o ruído transmitido. A substituição da laje maciça por laje nervurada com cubetas de EPS, em combinação com contrapiso de argamassa com brita leve 5cm (1:1:4) e argamassa comum 2cm + laminado de madeira 7mm o que garantiria a classificação superior na norma de desempenho.

7 CONCLUSÃO

Diante do crescimento demasiado das cidades, do aumento da população e circulação de pessoas, 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. Faz-se necessário que o conforto ambiental dos usuários seja revisto e priorizado.

Neste trabalho foi determinado o desempenho acústico do sistema de pisos de um apartamento, situado em um conjunto habitacional na cidade de Guarapuava-PR, conforme orientações da norma ABNT (2018) NBR ISO 16283.

As análises dos resultados mostram que os sistemas de pisos do estudo de caso estão classificados como o desempenho mínimo exigido. Dessa forma, é necessário prever medidas corretivas que possam promover maior conforto acústico 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, contrapiso flutuante, vedação horizontal de material absorvente, substituição de tecnologias construtivas.

Concluindo, 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 afetar negativamente a saúde dos moradores.

REFERENCIAS

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 15575-3**. Edifícios Habitacionais - Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. 2021- SVVIE. Rio de Janeiro, 2021.

ALMEIDA, Manuela G.; SILVA, Sandra M. **Acústica**. Portugal: Universidade do Minho – Escola de Engenharia, 2005.

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.

Bistafa, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. Editora Blucher, 2018. 9788521212843.

BRANDALISE, Guilherme Meurer; WESSLING, Luan Ives**. Estudo comparativo de custo entre laje maciça simples e laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas em edifícios de até quatro pavimentos no município de Pato Branco**, Paraná, Brasil. 2015. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

BROWN, C. **The power of qualitative data in post-occupancy evaluations of residential high-rise buildings**. Journal of Housing and the Built Environment, v. 31, n. 4, p. 605–620, 2016.

CARVALHO, Maria Luiza U. **Resíduos de poli (tereftalato de etileno) e de pneu na confecção de pisos flutuantes para o isolamento do ruído de impacto**. Goiânia, Goiás, 2009, 98 p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.

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.

Kuhn, M. E. **Análise do desempenho acústico de edificação habitacional de âmbito social conforme a NBR 15.575,** 2015.

Nunes, M.F.O.; Zini, A.; Pagnussat, D.T. **Desempenho Acústico de Sistemas de Piso: Estudos de Caso Para Isolamento ao Ruído Aéreo e de Impacto**. Laboratório de Tecnologia Construtiva, Universidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, RS, 2014.

Remorini, S. L. **Acústica arquitetônica**. [Grupo A, 2018. 9788595027169. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books /9788595027169/>.

PROACÚTICA- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA. **Manual ProAcústica de Acústica Básica.** Disponível em: <https://www.proacustica.org.br/manuais-proacustica/manual-acustica-basica/ >.

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.

SOUZA, Léa C. L.; ALMEIDA, Manuela G.; BRAGANÇA, Luís. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica**: ouvindo a Arquitetura – São Carlos: EdUFSCar, 2006.

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 21

Figura 21 - Certificado de calibração do sonômetro 2250

Brüel & Kjær

BEYOND MEASURE

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 Pachedo Bastos, 800
Bairro Industrial - Guarapuava / PR
85053-525

Calibração ABNT NBR ISO/IEC 17025
CAL 0305

Processo LACEL.B&K: 252/20

CONDIÇÕES DA CALIBRAÇÃO:

Pré-condicionamento: 4 horas em (23 ± 2) °C

Condições ambientais estão descritas nas páginas seguintes e dentro das tolerâncias mencionadas abaixo:
Temperatura do ar: ± 3 °C
Pressão atmosférica: ± 1 kPa
Umidade relativa: ± 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

HBK

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 22 apresenta o certificado de calibração do calibrador de nível sonoro utilizado.

Figura 22 - 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**		
Descrição:	**Calibrador de Nível Sonoro**	Código de Identificação:	---
Número de série:	**3025920**	Classe aplicada:	**1**
Fabricante:	**Brüel & Kjær**	Normas aplicadas:	**IEC 60942:2003**

CLIENTE:

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

Calibração ABNT NBR ISO/IEC 17025
CAL 0305

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:

- [X] Calibração inicial
- [ ] Calibração antes do ajuste
- [ ] Calibração sem ajuste
- [ ] 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 IAAC 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

HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR
MARCOS ALLEGRETTI:10333345886
Assinado de forma digital por MARCOS ALLEGRETTI:10333345886
Dados: 2020.12.14 16:10:54 -03'00'

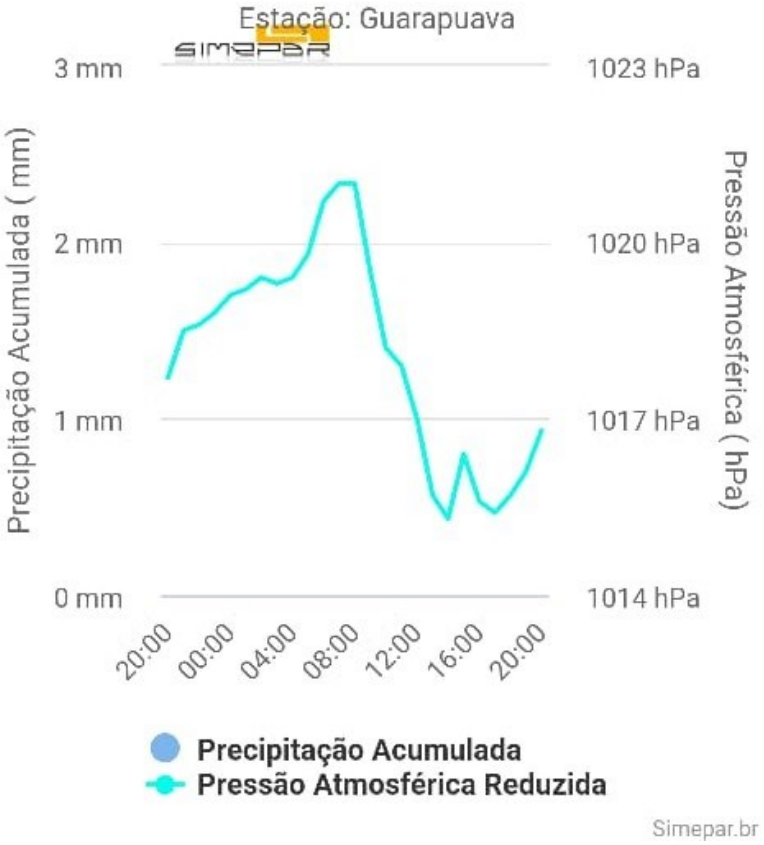
Gerente de Serviço do Laboratório de Acústica e Vibração

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

ANEXO B - Condições climáticas durante as medições

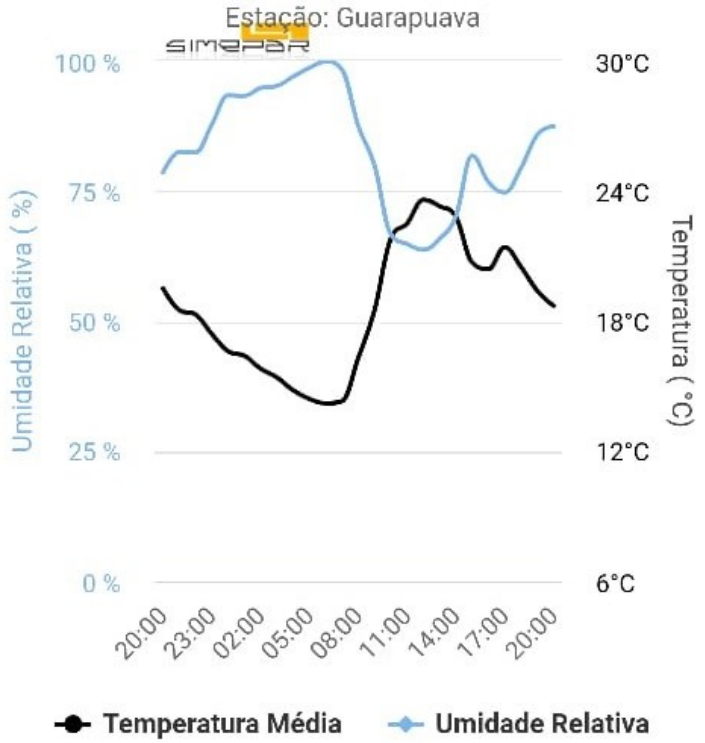
Os valores da pressão atmosférica no momento das medições estão apresentados na figura 23, assim temperatura e umidade relativa do ar na figura 24, além dos dados gerais obtidos por estações meteorológicas na figura 25.

Figura 23 - Pressão atmosférica no dia 06/10/2021 em Guarapuava



Fonte: Simepar (2021)

Figura 24 -Temperatura do ar e umidade no dia 06/10/2021 em Guarapuava



Fonte: Simepar (2021)

Figura 25 - Dados medidos por estações meteorológicas 06/10/21

Fonte: Simepar (2021)

APÊNDICE A - Dados fornecidos pelo sonômetro

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 4 - Dados do nível de pressão sonora para Fonte 1

Frequências	M1e	M1r	M2e	M2r	M3e
LZeq 100Hz	86,75	56,05	84,48	51,11	86,83
LZeq 125Hz	95,22	61,39	94,7	61,81	93,23
LZeq 160Hz	92,57	59,12	90,55	56,39	90,79
LZeq 200Hz	76,51	42,73	81,15	43,43	80,71
LZeq 250Hz	79,7	50,9	80,98	44,61	81,01
LZeq 315Hz	86,03	45,73	86,17	46,14	84,14
LZeq 400Hz	86,76	44,13	87,58	46,37	86,86
LZeq 500Hz	85,59	44,03	86,14	43,35	84,64
LZeq 630Hz	80,12	36,92	80,34	38,41	80,49
LZeq 800Hz	77,08	33,91	77,91	32,34	78,2
LZeq 1kHz	77,09	31,6	77,05	30,6	76,78
LZeq 1.25kHz	77,34	30,82	76,22	29,66	75,6
LZeq 1.6kHz	76,51	32,35	76,39	30,4	75,76
LZeq 2kHz	85,14	38,32	86,02	37,09	85,49
LZeq 2.5kHz	89,3	39,96	90,15	39,15	88,94
LZeq 3.15kHz	83,59	31,85	83,72	31,78	83,24

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 5 - Dados do nível de pressão sonora para Fonte 1

Frequências	M3r	M4e	M4r	M5e	M5r
LZeq 100Hz	52.36	88.75	56.81	75.87	53.31
LZeq 125Hz	62.5	96.23	62.85	93.38	61
LZeq 160Hz	57.14	89.67	60.94	91.26	59.11
LZeq 200Hz	41.8	81.35	42.52	78.22	44.22
LZeq 250Hz	47.41	78.77	49.28	80.48	51.7
LZeq 315Hz	46.86	86.15	47.4	85.01	48.28
LZeq 400Hz	46.24	88.1	47.1	86.28	45.33
LZeq 500Hz	43	84.77	43.36	85.05	43.18
LZeq 630Hz	38.64	80.27	38.32	80.41	37.81
LZeq 800Hz	32.77	77.62	33.19	77.72	33.37
LZeq 1kHz	30.76	76.64	31.46	77.47	31.58
LZeq 1.25kHz	29.3	75.68	30.7	76.48	30.74
LZeq 1.6kHz	30.85	76.33	32.92	76.06	32.47
LZeq 2kHz	37.68	85.48	38.87	85.26	38.92
LZeq 2.5kHz	39.54	89.41	40	89.2	40.73
LZeq 3.15kHz	31.33	83.64	32.73	83.55	32.96

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 6 - Média energética de emissão e recepção Fonte 1

Frequência (Hz)	Média energética Emissão	Média energética Recepção
100	86,07	54,47
125	94,70	61,96
160	91,08	58,84
200	79,96	43,02
250	80,27	49,44
315	85,57	46,98
400	87,16	45,95
500	85,27	43,40
630	80,33	38,06
800	77,72	33,15
1000	77,02	31,22
1250	76,31	30,29
1600	76,22	31,91
2000	85,49	38,23
2500	89,42	39,91
3150	83,55	32,17

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 7 - Dados do nível de pressão sonora para Fonte 2

Frequências	M1e	M1r	M2e	M2r	M3e
LZeq 100Hz	83,4	48,51	89,44	52,12	85,23
LZeq 125Hz	94,76	61,45	95,42	63,66	95,69
LZeq 160Hz	92,65	57,6	90,68	57,54	93,11
LZeq 200Hz	78,83	44,01	80,86	42,98	76,72
LZeq 315Hz	87,46	47,47	86,56	48,96	87,69
LZeq 400Hz	86,78	46,47	88,96	46,98	87,66
LZeq 500Hz	84,02	44,78	84,84	43,04	84,4
LZeq 630Hz	79,94	38,26	78,49	38,26	79,98
LZeq 800Hz	77,23	34,54	78,86	34,67	78,13
LZeq 1kHz	75,94	31,69	75,9	31,62	76,78
LZeq 1.25kHz	76,73	31,69	76,6	31,21	77,44
LZeq 1.6kHz	76,18	32,39	75,84	32,38	76,36
LZeq 2kHz	85,41	38,12	84,93	38,52	85,79
LZeq 2.5kHz	89,05	39,14	88,53	39,82	88,83
LZeq 3.15kHz	84,14	31,65	83,22	32,61	83,82

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 8 - Dados do nível de pressão sonora para Fonte 2

Frequências	M3r	M4e	M4r	M5e	M5r
LZeq 100Hz	55,26	86,69	50,21	79,65	39,16
LZeq 125Hz	64,68	95,72	62,88	94,14	62,23
LZeq 160Hz	60,82	88,64	59,23	90,96	57,73
LZeq 200Hz	42,35	79,04	44,03	78,25	42,92
LZeq 250Hz	50,06	82,41	48,15	83,24	48,32
LZeq 315Hz	49,32	83,33	48,21	84,23	48,04
LZeq 400Hz	47,83	86,96	47,16	86,82	47,18
LZeq 500Hz	43,25	84,73	42,95	84,33	42,37
LZeq 630Hz	38,54	79,5	37,16	80,08	38
LZeq 800Hz	34,71	78,06	34,99	78,03	34,72
LZeq 1kHz	31,77	76,04	31,31	76,61	31,77
LZeq 1.25kHz	32,31	76,49	32,1	76,48	31,93
LZeq 1.6kHz	33,8	76,16	32,23	76,11	32,54
LZeq 2kHz	39,57	85,62	39,08	84,87	38,74
LZeq 2.5kHz	40,88	88,88	40,07	88,32	40,1
LZeq 3.15kHz	38,72	84,03	35,37	83,47	32,7

Fonte: Autoria própria

Tabela 9 - Média energética de emissão e recepção Fonte 2

Frequência (Hz)	Média energética Emissão	Média energética Recepção
100	86,00	51,35
125	95,19	63,13
160	91,48	58,79
200	78,95	43,31
250	83,24	48,42
315	86,19	48,45
400	87,52	47,15
500	84,47	43,36
630	79,64	38,07
800	78,09	34,73
1000	76,27	31,64
1250	76,76	31,86
1600	76,13	32,71
2000	85,34	38,83
2500	88,73	40,04
3150	83,75	35,06

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 10 - Dados do tempo de reverberação Fonte 1

Frequências	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5	Tr6	Média
100Hz	1.103	1.223	1.007	1.142	1.137	0.792	1.067
125Hz	1.232	1.517	1.599	1.238	1.172	1.627	1.397
160Hz	1.278	1.237	1.195	1.104	1.292	1.163	1.212
200Hz	1.998	1.676	1.506	1.609	1.701	1.583	1.679
250Hz	1.677	1.573	1.519	1.555	1.782	1.541	1.608
315Hz	1.497	1.078	1.618	1.884	1.700	1.323	1.517
400Hz	1.194	1.008	1.075	1.377	1.582	1.227	1.244
500Hz	1.093	0.914	1.001	0.911	0.926	0.943	0.965
630Hz	1.474	1.409	1.253	1.465	1.374	1.245	1.370
800Hz	1.724	1.493	1.479	1.879	2.013	1.509	1.683
1kHz	1.813	1.603	1.648	1.989	1.973	1.797	1.804
1.25kHz	1.956	1.609	1.668	1.918	2.012	1.664	1.805
1.6kHz	1.815	1.496	1.511	1.786	1.794	1.488	1.648
2kHz	1.596	1.399	1.407	1.672	1.662	1.403	1.523
2.5kHz	1.467	1.258	1.316	1.565	1.512	1.356	1.412
3.15kHz	1.208	1.086	1.103	1.198	1.210	1.147	1.159

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 11 - Dados do tempo de reverberação Fonte 2

Frequências	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5	Tr6	Média
100Hz	1.103	1.223	1.007	1.142	1.137	0.792	1.067
125Hz	1.232	1.517	1.599	1.238	1.172	1.627	1.397
160Hz	1.278	1.237	1.195	1.104	1.292	1.163	1.212
200Hz	1.998	1.676	1.506	1.609	1.701	1.583	1.679
250Hz	1.677	1.573	1.519	1.555	1.782	1.541	1.608
315Hz	1.497	1.078	1.618	1.884	1.700	1.323	1.517
400Hz	1.194	1.008	1.075	1.377	1.582	1.227	1.244
500Hz	1.093	0.914	1.001	0.911	0.926	0.943	0.965
630Hz	1.474	1.409	1.253	1.465	1.374	1.245	1.370
800Hz	1.724	1.493	1.479	1.879	2.013	1.509	1.683
1kHz	1.813	1.603	1.648	1.989	1.973	1.797	1.804
1.25kHz	1.956	1.609	1.668	1.918	2.012	1.664	1.805
1.6kHz	1.815	1.496	1.511	1.786	1.794	1.488	1.648
2kHz	1.596	1.399	1.407	1.672	1.662	1.403	1.523
2.5kHz	1.467	1.258	1.316	1.565	1.512	1.356	1.412
3.15kHz	1.208	1.086	1.103	1.198	1.210	1.147	1.159

Fonte: Autoria própria (2021)

APÊNDICE B - Código R para interpretação gráfica dos dados

Figura 26 - Algoritmo para determinar a diferença padronizada de nível ponderada

```
> A<-c(36.1654,36.8511,36.3079,41.5552,37.4575,42.9708,44.7398,44.3509,46
  .3311,49.3195,51.3849,51.2315,49.5461,51.7024,53.5918,53.4776)#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 delocada
      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 (2021)

O gráfico gerado teve como base esse algoritmo, inserindo os valores de D_{nT} (dados de entrada “A” no código) conforme os dados apresentados anteriormente.

APÊNDICE C - Análise das incertezas de medição

Para 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 11

Tabela 12 - Grau de confiança GC associados ao fator de expansão k

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

Fonte: RINDEL (2018), adaptado

APÊNDICE D - Dados de ruído de fundo

A Tabela 13 apresenta os dados coletados pelo sonômetro do ruído de fundo do ambiente analisado. Os valores foram organizados no *software Microsoft Excel* e foi realizado a média energética dos valores, conforme Equação 2, para comparar os resultados de forma gráfica, representada pela Figura 18.

Tabela 13 - Dados de ruído de fundo

Frequência (Hz)	Rfundo1	Rfundo2	Rfundo3	Média energética
100	31.09	26.74	21.47	28.01
125	29.34	35.47	22.93	31.84
160	28.17	33.42	26.25	30.38
200	27.37	27.75	23.35	26.56
250	25.47	27.76	22.3	25.72
315	23.21	25.61	21.77	23.82
400	21.06	24.35	18.12	21.90
500	20.26	24.63	18.32	21.90
630	20.93	23.46	18.44	21.41
800	21.54	23.3	19.08	21.64
1000	21.16	26.69	19.51	23.60
1250	21.19	22.24	19.3	21.07
1600	20.54	25.88	18.95	22.86
2000	18.97	23.54	18.38	20.95
2500	17.34	22.52	15.04	19.46
3150	17.1	20.86	13.03	18.09

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 14 - Dados utilizados para correção do nível de sinal do ruído de fundo Fonte 1

Frequências	M1r	M2r	M3r	M4r	M5r	Média energética	Ruído de fundo	Novo L
LZeq 100Hz	56.05	51.11	52.36	56.81	53.31	54.47	Ok	54.47
LZeq 125Hz	61.39	61.81	62.5	62.85	61	61.96	Ok	61.96
LZeq 160Hz	59.12	56.39	57.14	60.94	59.11	58.84	Ok	58.84
LZeq 200Hz	42.73	43.43	41.8	42.52	44.22	43.02	Ok	43.02
LZeq 250Hz	50.9	44.61	47.41	49.28	51.7	49.44	Ok	49.44
LZeq 315Hz	45.73	46.14	46.86	47.4	48.28	46.98	Ok	46.98
LZeq 400Hz	44.13	46.37	46.24	47.1	45.33	45.95	Ok	45.95
LZeq 500Hz	44.03	43.35	43	43.36	43.18	43.40	Ok	43.40
LZeq 630Hz	36.92	38.41	38.64	38.32	37.81	38.06	Ok	38.06
LZeq 800Hz	33.91	32.34	32.77	33.19	33.37	33.15	Ok	33.15
LZeq 1kHz	31.6	30.6	30.76	31.46	31.58	31.22	Não ok	30.40
LZeq 1.25kHz	30.82	29.66	29.3	30.7	30.74	30.29	Não ok	29.74
LZeq 1.6kHz	32.35	30.4	30.85	32.92	32.47	31.91	Não ok	31.33
LZeq 2kHz	38.32	37.09	37.68	38.87	38.92	38.23	Ok	38.23
LZeq 2.5kHz	39.96	39.15	39.54	40	40.73	39.91	Ok	39.91
LZeq 3.15kHz	31.85	31.78	31.33	32.73	32.96	32.17	Ok	32.17

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 15 - Dados utilizados para correção do nível de sinal do ruído de fundo Fonte

Frequências	M1r	M2r	M3r	M4r	M5r	Média energética	Ruído de fundo	Novo L
LZeq 100Hz	48.51	52.12	55.26	50.21	39.16	51.35	Ok	51.33
LZeq 125Hz	61.45	63.66	64.68	62.88	62.23	63.13	Ok	63.12
LZeq 160Hz	57.6	57.54	60.82	59.23	57.73	58.79	Ok	58.78
LZeq 200Hz	44.01	42.98	42.35	44.03	42.92	43.31	Ok	43.22
LZeq 250Hz	45.17	49.03	50.06	48.15	48.32	48.42	Ok	48.40
LZeq 315Hz	47.47	48.96	49.32	48.21	48.04	48.45	Ok	48.44
LZeq 400Hz	46.47	46.98	47.83	47.16	47.18	47.15	Ok	47.13
LZeq 500Hz	44.78	43.04	43.25	42.95	42.37	43.36	Ok	43.33
LZeq 630Hz	38.26	38.26	38.54	37.16	38	38.07	Ok	37.97
LZeq 800Hz	34.54	34.67	34.71	34.99	34.72	34.73	Ok	34.51
LZeq 1kHz	31.69	31.62	31.77	31.31	31.77	31.64	Não	30.89
LZeq 1.25kHz	31.69	31.21	32.31	32.1	31.93	31.86	Ok	31.86
LZeq 1.6kHz	32.39	32.38	33.8	32.23	32.54	32.71	Não	32.23
LZeq 2kHz	38.12	38.52	39.57	39.08	38.74	38.83	Ok	38.83
LZeq 2.5kHz	39.14	39.82	40.88	40.07	40.1	40.04	Ok	40.04
LZeq 3.15kHz	31.65	32.61	38.72	35.37	32.7	35.06	Ok	35.06

Fonte: Autoria própria (2021)