

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DO CONFORTO ACÚSTICO EM UM LABORATÓRIO DE METROLOGIA

por

Diogenes Ferreira Roncatto

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, maio de 2021

## DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

Ferreira Roncatto, Diogenes  
ANÁLISE DO CONFORTO ACÚSTICO EM UM  
LABORATÓRIO DE METROLOGIA. / Diogenes Ferreira  
Roncatto. -- 2020  
20 f.  
Orientadora: Letícia Fleck Fadel Miguel

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) –  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto Alegre, BR-  
RS, 2020.

1. Conforto Acústico 2. Ruído 3. Nível de pressão sonora 4.  
Enclausuramento acústico 4. Ruído. I. Miguel, Letícia Fleck  
Fadel, orient. II. Título

Diogenes Ferreira Roncatto

ANÁLISE DO CONFORTO ACÚSTICO EM UM LABORATÓRIO DE METROLOGIA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mario Roland Sobczyk Sobrinho  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Letícia Fleck Fadel Miguel

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Edson Aseka

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Letícia Fleck Fadel Miguel

Prof. Dr. Walter Jesus Paucar Casas

Porto Alegre, maio de 2021

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, Gilso e Magda, por todo apoio, amor incondicional e incentivo, permitindo que, mesmo nos momentos difíceis, eu buscase meu sonho.

Aos meus avós e minha irmã Thayná, que ficaram ao meu lado e entenderam minha ausência enquanto me dedicava ao trabalho.

A minha namorada, Bárbara, por entender os momentos complicados dando total apoio para que consiga atingir os meus objetivos, assim como os auxílios nas revisões e formatações do trabalho.

Aos meus colegas de trabalho e faculdade, Schuch, Barbieri, Rousselet e Vacaro, que contribuíram de alguma forma na realização deste trabalho.

A UFRGS e aos professores, os quais foram fundamentais no meu processo de desenvolvimento pessoal e formação profissional.

Ferreira Roncatto, Diogenes. **Análise do conforto acústico em um laboratório de metrologia.** 2020. 20 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

## RESUMO

O trabalho analisa a exposição ao ruído de colaboradores do laboratório de metrologia pela caracterização dos níveis de pressão sonora e cálculos dos níveis de exposição normalizado através de uma amostra da jornada de trabalho. Como medida de intervenção da propagação sonora, o enclausuramento da fonte geradora de ruído é estabelecido analiticamente pelo método de isolamento sonoro de parede simples e a Lei da Massa, determinando a curva da perda por transmissão e os níveis de pressão sonora. Assim, foi construído um gabinete acústico com paredes de madeira compensada revestida por lã de rocha, o qual apresenta elevada atenuação de ruído para alta frequência. O estudo caracterizou o ambiente por meio de medições do nível de pressão sonora equivalente segundo normas NBR 10151 e 10152. Os resultados das medições nos pontos internos da sala, mostram os valores atendendo aos critérios da NR-15, porém com níveis superiores quando analisados na perspectiva de conforto acústico. Os pontos externos demonstram atenuação na média dos níveis de pressão sonora. No nível de pressão sonora obtido após o enclausuramento, houve redução de 30,6%, comprovando que a utilização de materiais isolantes e fibrosos auxiliam no amortecimento da vibração e dissipação da energia sonora em alta frequência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conforto Acústico, Ruído, Nível de Pressão Sonora, Enclausuramento Acústico.

Ferreira Roncatto, Diogenes. **Analysis of acoustic comfort in a metrology laboratory**. 2020. 20 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

## ABSTRACT

The paper analyzes the noise exposure to the employees of the metrology laboratory by characterization of sound pressure levels and calculations of normalized exposure levels through a sample of the working day. As an intervention measure against sound propagation, the enclosure of the noise generating source is analytically established by the single wall sound insulation method and the Law of Mass, determining the transmission loss curve and the sound pressure levels. Therefore, an acoustic enclosure was built with plywood walls covered with rock wool, which presents high noise attenuation for high frequency. The study characterized the environment by measuring the equivalent sound pressure level using the NBR 10151 and 10152 standards. The results of the measurements at the internal points of the room show values meeting the NR-15 criteria, but with higher levels when analyzed from the perspective of acoustic comfort. The external points show attenuation in the average sound pressure levels. At the sound pressure level obtained after the enclosure, there was a reduction of 30.6%, proving that the use of insulating materials and fibrous help in damping vibration and dissipation of sound energy at high frequency.

**KEYWORDS:** Acoustic comfort, Noise, Sound Pressure Level, Acoustic Enclosure.

## NOMENCLATURA

<b>Símbolos</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade SI</b>
<i>NPS</i>	Nível de pressão sonora	[dB]
<i>p</i>	Pressão sonora medida	[N/m <sup>2</sup> ]
<i>p0</i>	Pressão sonora de referência ( $2 \times 10^{-5}$ Pa)	[N/m <sup>2</sup> ]
<i>Leq</i>	Nível de pressão sonora equivalente	[dB]
<i>LAeq</i>	Média do nível de pressão sonora equivalente	[dB]
<i>A</i>	Absorção total	[m <sup>2</sup> ]
<i>Si</i>	Área de cada superfície	[m <sup>2</sup> ]
$\alpha_i$	Coefficiente de absorção sonora de cada superfície	[adm]
$\alpha_m$	Coefficiente de absorção sonora equivalente	[adm]
<i>NPS int</i>	Nível de pressão sonora interna	[dB]
<i>NPS ext</i>	Nível de pressão sonora externa	[dB]
<i>NWS</i>	Nível de potência sonora	[dB]
<i>C</i>	Constante da ambiente	[m <sup>2</sup> ]
<i>Q</i>	Fator direcional da fonte	[adm]
<i>r</i>	Distância do ponto até a fonte sonora	[m]
<i>f</i>	Frequência do som	[Hz]
<i>fc</i>	Frequência crítica	[Hz]
<i>E</i>	Módulo de elasticidade	[adm]
<i>Rho</i>	Massa específica do material	[kg/m <sup>3</sup> ]
<i>e</i>	Espessura da partição	[m]
<i>v</i>	Coefficiente de Poisson	[adm]
<i>n</i>	Coefficiente de amortecimento	[adm]
<i>R</i>	Perda por transmissão	[dB]
<i>m</i>	Peso específico do material	[kg/m <sup>2</sup> ]
<i>NPSr</i>	Nível de pressão sonora resultante	[dB]
<i>D</i>	Dose diária de ruído	[%]
<i>TE</i>	Tempo de duração da jornada diária de trabalho	[min]
<i>NE</i>	Nível de exposição	[dB]
<i>NEN</i>	Nível de exposição normalizado	[dB]
<i>Cn</i>	Tempo total diário que o trabalho fica exposto para um determinado nível de ruído	[min]
<i>Tn</i>	Tempo máximo diário permissível para um determinado nível de ruído	[min]
<i>t</i>	Tempo de integração	
<i>W</i>	Potência da fonte sonora	[W]
<i>W0</i>	Potência de referência (10 <sup>-12</sup> W)	[W]
<b>Abreviaturas</b>	<b>Descrição</b>	
NR-15	Norma Regulamentadora 15	
NHO-01	Norma de Higiene Ocupacional	
CNQ	Conselho Nacional da Qualidade	
PAIR	Perda Auditiva Induzida Por Ruído	
PET	Polietileno Tereftalato	
NBR	Norma Técnica Brasileira	
OMS	Organização Mundial da Saúde	

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO .....	1
1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	1
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>2</b>
2.1 SOM .....	2
2.2 FREQUÊNCIA.....	2
2.3 CONFORTO ACÚSTICO.....	3
2.4 PROPAGAÇÃO DO SOM.....	3
2.5 LEI DA MASSA .....	3
2.6 DOSE DE RUÍDO.....	3
2.7 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA E CÁLCULO DA ABSORÇÃO .....	4
2.8 ISOLAMENTO SONORO DE PAREDE SIMPLES .....	5
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>5</b>
3.1 NORMAS E RECOMENDAÇÕES .....	5
3.2 EQUIPAMENTOS .....	6
3.3 MEDIÇÃO DE RUÍDO .....	6
3.4 IDENTIFICAÇÃO DA FONTE GERADORA.....	7
3.5 DESCRIÇÃO DO PROJETO .....	7
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>10</b>
4.1 DIMENSIONAMENTO TEÓRICO.....	10
4.2 ANÁLISES EXPERIMENTAIS .....	11
4.2.1 Nível de pressão sonora equivalente .....	11
4.2.2 Comparação do NPS teórico e experimental.....	13
4.3 ANÁLISE DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO NORMALIZADO .....	14
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>16</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>17</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>19</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

As indústrias possuem uma ampla gama de processos sendo o laboratório de metrologia o elo integrador entre esses diferentes tipos de operação. As atividades em laboratório requerem uma alta concentração e precisão, não sendo permitido os desvios desses processos. Estes ambientes laboratoriais seguem orientações e especificações estabelecidas em normas e recomendações técnicas, como as que serão aqui apresentadas. No ambiente laboratorial recomenda-se um nível sonoro contínuo, de aproximadamente 45 dB, por se tratar de um ambiente pouco ruidoso devido à sua influência no comportamento humano bem como na saúde, bem-estar, capacidade auditiva e eficiência no trabalho. Os laboratórios metrológicos inseridos nos ambientes fabris sofrem uma carga excessiva de ruído provenientes das diferentes máquinas e equipamentos instalados no local, que por vezes excedem os limites de saúde regidos pela NR 15 ou até mesmo os de conforto acústico.

A Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR) é um grande problema de saúde pública. Segundo um estudo realizado por Graydon et al (2019), estima-se que esta doença tem um impacto financeiro mundial em torno de 750 bilhões de dólares ao ano, considerando custos do sistema de saúde, perdas de produtividade e custos sociais. Esta doença está fortemente relacionada à profissão exercida, sendo a exposição excessiva e contínua a altos níveis de pressão sonora a causa da redução gradativa na audição, podendo também ocasionar a perda de audição permanente, temporária, entre outros. Segundo a OMS (1999), a demasiada exposição a altos níveis de ruídos podem causar estresse, problemas para dormir, ansiedade, irritabilidade, aumento da pressão arterial e aumento na produção de adrenalina. E essa excessiva exposição pode ser facilmente encontrada nos segmentos metal-mecânicos, indústrias siderúrgicas e construção civil, como também na área de transportes.

Os elevados níveis de pressão sonora não estão somente relacionados com o risco ocupacional dos colaboradores, mas também com o comprometimento das atividades mentais, físicas e fisiológicas dos indivíduos. Assim, busca-se o desenvolvimento de alternativas para minimizar o impacto do ruído incidido nos colaboradores, podendo-se frequentemente encontrar em ambientes fabris máquinas enclausuradas e barreiras acústicas.

Diante da conjuntura acima exposta, o trabalho visa analisar as emissões de ruídos originados pelos processos de fabricação e incididos no laboratório de metrologia. Para isso, foram realizadas medições de nível de pressão sonora de maneira a mapear e identificar propor de melhoria para o ambiente.

### **1.1. OBJETIVO**

O presente trabalho tem como objetivo analisar os níveis de exposição ao ruído dos colaboradores de um laboratório de metrologia, o qual está instalado dentro da linha de produção de uma indústria de elevadores da região metropolitana de Porto Alegre. O trabalho buscará também avaliar as medições realizadas em campo de forma que caracterize o nível de pressão sonora no ambiente seguido de uma comparação como as referências estabelecidas em norma. Sendo assim, será possível identificar as principais fontes de ruído propondo soluções que amenizem a incidência do ruído permitindo uma melhor performance dos funcionários como também a redução do impacto na saúde física e mental dos mesmos.

### **1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A monografia de Lutz (2019), para a conclusão do curso de Engenharia Mecânica, realizou a análise do conforto acústico e da exposição ao ruído em um estúdio de tatuagem

mediante a avaliação dos níveis de pressão sonora e da dose de ruído a que o profissional era submetido. O estudo seguiu procedimentos estabelecidos nas normas NBR 10152 e NHO-01, comparando-os com os valores de referências convencionadas na norma NR-15. Os resultados evidenciaram a adequação das máquinas avaliadas com a norma, porém, para a máquina de bobinas foi verificada a falta de conforto acústico no ambiente devido a apresentar um nível de pressão sonora equivalente de 73,1 dB(A). Assim, tendo em vista a impossibilidade de controle do meio, Lutz recomendou a preferência na utilização de máquinas rotativas e o uso de EPI a fim de reduzir os riscos à saúde.

Outro trabalho realizado por Thomazelli (2008) consistiu na análise do desempenho acústico para diferentes combinações de materiais através do enclausuramento da fonte sonora. O projeto estabeleceu os fechamentos com madeira da fonte de ruído com e sem abertura de janela, parede de espuma e combinação da parede de madeira revestida internamente por espuma. Através disso apresentou as diferenças entre os isolamentos acústicos e a absorção, concluindo que o sistema montado com apenas a estrutura de espuma não apresentou influência em baixas frequências, enquanto para frequências a partir de 500 Hz mostrou uma redução do nível de pressão sonora. O trabalho também mostrou que o fechamento de madeira acompanhado por espuma possui desempenho superior para altas frequências em comparação com as demais combinações de materiais.

Kuyava (2020), em sua monografia, verificou a análise do enclausuramento acústico de uma trituradora industrial. O estudo compreendeu a influência da máquina no conforto acústico das pessoas com a instalação de uma capota acústica enclausurando o equipamento. A capota acústica instalada era composta de chapa de aço e lã de vidro, e apresentou uma redução de 22,9% no nível de ruído.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

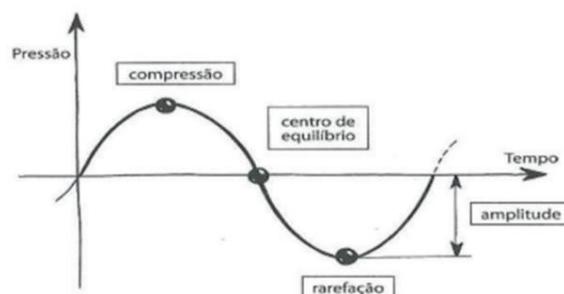
### **2.1. SOM**

O som e o ruído são um dos perigos mais comuns para a saúde ocupacional. Segundo Bistafa (2011), o som é uma vibração mecânica emitida por uma fonte que pode ou não ser perceptível ao ouvido humano. Este fenômeno se dá através da propagação das ondas por um meio como o ar, líquidos e sólidos. Ele se propaga em todas as direções diminuindo sua intensidade e se afastando da fonte geradora. Para Castro e Rancura (2018), o ruído é algo subjetivo e que varia na percepção de cada pessoa passando uma sensação de desconforto, sendo assim indesejável ao ouvido humano. Logo pode-se diferenciar o ruído como uma mistura de sons não uniformes, resultado de uma vibração irregular e sem harmonia, sendo desagradável ao ouvido. O entendimento desses dois conceitos revelam informações importantes sobre o funcionamento do que nos circunda, com isso dentro de uma indústria se torna perceptível a identificação de fenômenos como a necessidade da troca do inserto da ferramenta de uma máquina operatriz devido ao desgaste.

### **2.2. FREQUÊNCIA**

Conforme mencionado por Souza et al (2006) e apresentado na Figura 1, a frequência de uma onda sonora pode ser definida como a quantidade de vezes que uma partícula passa de um ciclo de compressão e rarefação em um determinado tempo e amplitude em torno de seu centro de equilíbrio. O ouvido humano consegue perceber uma banda de frequência de 20Hz a 20.000Hz, sendo que frequências mais altas possuem um maior número de ciclos e um timbre mais agudo, diferentemente das frequências mais baixas que possuem um timbre mais grave.

Figura 1 – Comportamento de uma onda sonora  
 Fonte: Souza, Almeida e Bragança (2006, pg. 25)



### 2.3. CONFORTO ACÚSTICO

O estudo sobre o conforto acústico tem como objetivo analisar os níveis de ruídos de um determinado ambiente que interferem direta ou indiretamente ao desempenho e a saúde das pessoas que por ali circulam, para então propor soluções de melhoria que visem amenizar ou mitigar o impacto do ruído por meio de técnicas como a isolamento sonora. A isolamento sonora é quando há uma separação do som entre os ambientes por meio do uso de materiais densos e sistemas massa/mola que consigam amortecer e dissipar a energia sonora. Segundo Souza (1998 apud Santos 1994), o controle do ruído podem ser divididas em três partes:

- Intervenção sobre a propagação, aplica-se enclausuramento parcial/integral, barreiras.
- Intervenção na fonte emissora, podendo ser pela substituição da máquina, redução da concentração das máquinas, eliminação ou aumento da distância da máquina geradora .
- Intervenção sobre o trabalho, através do isolamento em cabine acústica, utilização de EPI's ou na redução do tempo de exposição.

### 2.4. PROPAGAÇÃO DO SOM

Uma onda sonora se propaga pelo ambiente incidindo sobre as superfícies e originando três fenômenos: reflexão, absorção e transmissão. Para Castro e Rancura (2018), esses fenômenos se caracterizam pelo tipo de material no qual a superfície é constituída, sendo que materiais isolantes refletem grande parte da energia sonora, ao contrário dos materiais absorventes que possuem uma reflexão menor.

### 2.5. LEI DA MASSA

De acordo com Castro e Rancura (2018), a Lei da Massa estabelece uma relação da massa com a perda por transmissão. Logo, quanto maior a massa da parede, mais difícil será a vibração e, conseqüentemente, melhor o desempenho, atenuando o nível de ruído. Esta lei é amplamente utilizada para frequências baixas.

### 2.6. DOSE DE RUÍDO

A dose de ruído é utilizada como parâmetro para caracterizar a exposição ocupacional ao ruído, logo, utilizada para avaliar o ruído contínuo ou intermitente durante a jornada de trabalho seguindo a NH0-01 através Equação 1. Preferencialmente deve-se utilizar na avaliação medidores integradores de uso pessoal, entretanto a norma também oferece procedimentos alternativos para a determinação do nível de exposição (*NE*) ao ruído.

$$NE = 10 \times \log \left( \frac{480}{T_E} \times \frac{D}{100} \right) + 85 \quad [dB] \quad (1)$$

Deve-se atentar às condições de trabalho que apresentem dinâmica operacional complexa, na qual envolve a movimentação constante do trabalhador sujeito a diferentes ambientes e circunstâncias.

Na impossibilidade da utilização de medidor portátil, é possível determinar a dose diária de ruído utilizando um medidor portado pelo avaliador, através da Equação 2. A Norma NHO-01 apresenta o tempo máximo diário de exposição permitida em função do nível de ruído, sendo que níveis de ruído com valores intermediários aos constantes apresentados será considerado o nível imediatamente mais elevado, e níveis inferiores a 80 dB(A) não serão considerados no cálculo da dose. O Nível de Exposição Normalizado (*NEN*) é utilizado para determinar a exposição do trabalhador ao ruído em uma jornada de trabalho diferente de 8 horas por dia, podendo assim ser comparado com os limites de exposição estabelecidos em norma, pela Equação 3:

$$DOSE \text{ DIÁRIA} = \left( \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right) \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

$$NEN = NE + 10 \times \log \left( \frac{T_E}{480} \right) \quad [dB] \quad (3)$$

## 2.7. NÍVEL DE PRESSÃO SONORA E CÁLCULO DA ABSORÇÃO

O nível de pressão sonora (*NPS*) é uma medida para determinar a intensidade da onda sonora. Como mostra nas Equações 4 e 5, o nível de pressão sonora pode ser obtido através da relação logarítmica da pressão do ambiente com uma pressão de referência, sendo que o nível de pressão sonora equivalente é o nível sonoro médio integrado em um certo intervalo de tempo. A média do nível de pressão sonora equivalente (*LA<sub>eq</sub>*) é determinada através da Equação 6.

$$NPS = 10 \times \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 \quad [dB] \quad (4)$$

$$L_{eq} = 10 \times \log \left( \frac{1}{t} \int_0^t \frac{p^2}{p_0^2} dt \right) \quad [dB] \quad (5)$$

$$LA_{eq} = 10 \times \log \left( \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N 10^{\left( \frac{NPS_i}{10} \right)} \right) \quad [dB] \quad (6)$$

Para a determinação da área de absorção sonora, devemos compreender que o ambiente é composto por um conjunto de superfícies, onde cada superfície possui um coeficiente de absorção sonora e uma área específica. O coeficiente de absorção sonora depende de vários fatores e podem ser obtidos por intermédio de tabelas de fabricantes ou por meio de ensaios. Assim, pode-se determinar pela equação de Sabine, na Equação 7, a área de absorção sonora total do ambiente (*A*). O coeficiente de absorção sonora equivalente (*α<sub>m</sub>*) é definido através da Equação 8.

$$A = \sum S_i \alpha_i \quad [m^2] \quad (7)$$

$$\alpha_m = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i} \quad (8)$$

Pode-se determinar o nível de pressão sonora em um ambiente fechado através da Eq. 9.

$$NPS = NWS + 10 \times \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{C} \right) \quad [dB] \quad (9)$$

Sendo que a constante do ambiente ( $C$ ) determinada pela Equação 10 e o fator direcional ( $Q$ ) depende do sentido em que a fonte irradia podendo ser:

- $Q = 1$ , fonte que irradia igual em todas as direções
- $Q = 2$ , fonte contra um plano reflexivo
- $Q = 4$ , fonte contra dois planos reflexivos

$$C = \frac{S\alpha_m}{1-\alpha_m} \quad (10)$$

O nível de potência sonora ( $NWS$ ) é expressado através da Equação 11, a qual relaciona a potência sonora da fonte com uma potência de referência ( $W_0 = 10^{-12} \text{ Watts}$ ).

$$NWS = 10 \times \log\left(\frac{W}{W_0}\right) \quad [\text{dB}] \quad (11)$$

## 2.8. ISOLAMENTO SONORO DE PAREDE SIMPLES

Determina-se a frequência crítica ( $f_c$ ) da parede relacionando a espessura do material ( $e$ ), módulo de elasticidade ( $N/m^2$ ), massa específica ( $kg/m^3$ ) e o seu coeficiente de Poisson por meio da Equação 12.

$$f_c = \frac{63733,5}{e} \sqrt{\frac{\rho(1-\nu^2)}{E}} \quad [\text{Hz}] \quad (12)$$

Aplica-se a Lei da Massa para paredes leves (menor que  $150 \text{ kg/m}^2$ ) com valores de frequências inferiores a metade da frequência crítica, podendo ser determinado na Equação 13.

$$R = 20 \times \log(m \times f) - 53 \quad [\text{dB}] \quad (13)$$

Consideramos que a partir da metade da frequência crítica até uma frequência  $f_1$ , existe uma determinada perda por transmissão ( $R$ ) definida através da Lei da Massa. Sendo  $f_1$  definido na Equação 14 para paredes leves:

$$f_1 = 10^{(\log(f_c) - 0,33 \log(\eta) - 0,433)} \quad (14)$$

Assim, para as frequências maiores de  $f_1$ , aplica-se a Equação 15 para determinar a perda de transmissão. Logo, ao relacionarmos o  $NPS_{int}$  com a perda por transmissão, podemos determinar o nível de pressão sonora resultante externo através da Equação 16.

$$R = 20 \times \log(m \times f) + 10 \times \log\left(\frac{\eta \times f}{f_c}\right) - 45 \quad [\text{dB}] \quad (15)$$

$$NPS_{ext} = NPS_{int} - R \quad [\text{dB}] \quad (16)$$

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. NORMAS E RECOMENDAÇÕES

Conforme as normas NBR 10151 e NBR 10152, são estabelecidos procedimentos técnicos para medição e avaliação dos níveis de pressão sonora em ambientes internos e externos às edificações. Também são definidos por elas critérios e limites de verificação, estabelecendo procedimentos e valores de referência para estudos e projetos acústicos. Estas normas não avaliam o nível de exposição ocupacional de trabalhadores, direcionando este

assunto para normas específicas. Para isso, utiliza-se a norma NHO 01 que tem como objetivo a avaliação da exposição ocupacional ao ruído, determinando critérios e procedimentos para a ponderação da exposição, que em excesso pode implicar riscos à saúde dos colaboradores.

A recomendação CNQ 5/2001 estabelece recomendações ambientais para laboratório de calibração, considerando os aspectos de ruído, qualidade do ar, temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, iluminação, vibração, campo elétrico e magnético. A recomendação para ambiente laboratorial orienta um nível sonoro contínuo de aproximadamente 45 dB, podendo assim não influenciar no comportamento e saúde dos funcionários assim como na eficiência e capacidade de trabalho.

### 3.2. EQUIPAMENTOS

As medições foram realizadas através do decibelímetro DEC-490 da fabricante Instrutherm com *datalogger*, configurado para atender IEC 61672-1 *Class 2*. Foi utilizado, para a aquisição dos dados, o *software Sound Level Meter* versão 3.1 disponibilizado pela própria fabricante do equipamento. A escala de medição estabelecida foi de 50 a 100 dB, para ruído intermitente com ponderação de tempo *Slow* (uma vez a cada segundo), a curva de ponderação de frequência tipo A e tempo de integração de um segundo. Para a coleta de dados o equipamento foi fixado em um tripé a uma altura de 1,1m, e o microfone possuía um protetor de vento como observado na Figura 2.

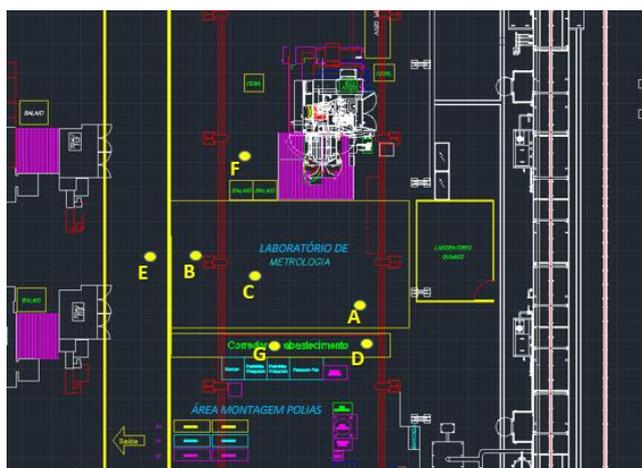
Figura 2 – Decibelímetro DEC-490 Instrutherm



### 3.3. MEDIÇÃO DE RUÍDO

Determinaram-se sete pontos de medição, distribuídos conforme a Figura 3, de maneira que ficassem uniformemente alocados e nos ambientes onde os colaboradores atuam e têm acesso.

Figura 3 – Layout do laboratório de metrologia e a planta produtiva

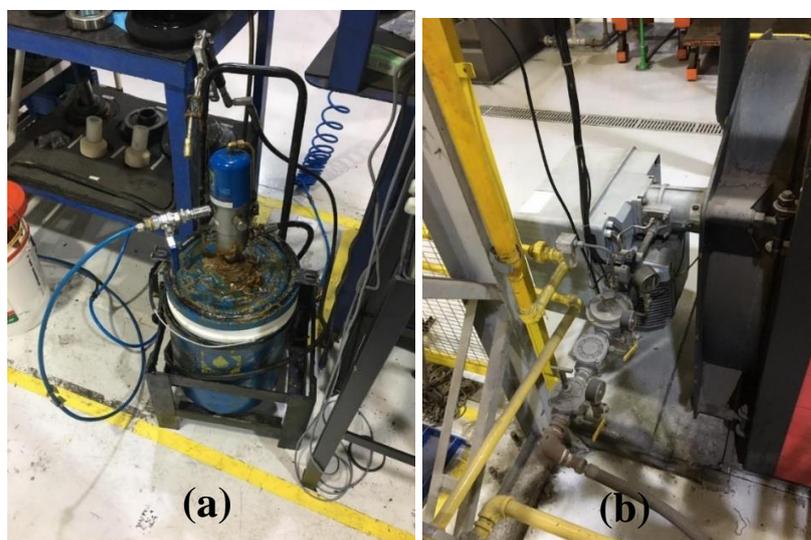


Garantiu-se às orientações estabelecidas na norma NBR 10151 com a distância de no mínimo 0,5 metros de paredes e demais objetos que possam refletir as ondas sonoras. Para cada local, realizou-se uma coleta contínua de 60 minutos, seguindo a norma NBR 10151, a qual estabelece que o tempo de medição deve ser definido de maneira a caracterizar sonoramente o objeto de medição, abrangendo seu funcionamento. As medições não foram executadas simultaneamente devido a limitações da quantidade de equipamentos.

### 3.4. IDENTIFICAÇÃO DA FONTE GERADORA

Através das medições realizadas identificaram-se as principais fontes de ruídos, que foram o sistema da cabine de pintura e a propulsora pneumática de graxa para as polias conforme apresenta a Figura 4. Com isso observou-se que a proposta de enclausuramento do equipamento pneumático como medida de atenuação dos níveis de ruído emitidos, visto que este equipamento está em constante interação com os colaboradores da linha. O escopo de trabalho limitou-se apenas ao estudo e melhoria para o sistema que tinha maiores níveis de ruído e interação com os colaboradores, sendo assim os equipamentos da linha de pintura não serão atendidos no presente trabalho.

Figura 4 – Equipamentos com maior geração de ruído. (a) Propulsora Pneumática e (b) Inversor da linha de pintura.



A propulsora pneumática para graxa é um equipamento para aplicação e transferência de fluidos, e tem como função a lubrificação forçada através de um mecanismo que é alimentado por um sistema de ar comprimido, permitindo assim o acesso do lubrificante aos canais da peça. Este equipamento está localizado na linha de montagem das polias de tração, onde é amplamente utilizada na injeção forçada de graxa, entre o acoplamento do eixo com a polia.

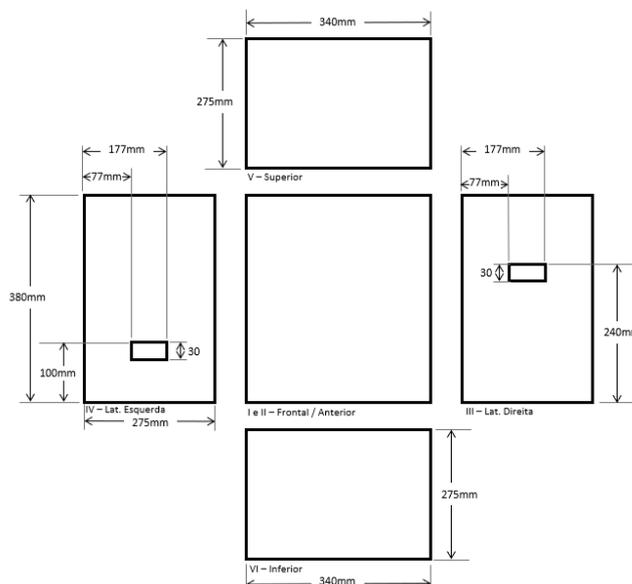
### 3.5. DESCRIÇÃO DO PROJETO

Tendo sido definidas as principais fontes geradoras de ruído no ambiente, optou-se como método de minimizar o ruído o enclausuramento do equipamento. Logo o projeto contemplou o dimensionamento, escolha dos materiais e construção de um gabinete acústico tendo como objetivo minimizar o impacto sonoro através da diminuição do nível de ruído sonoro, garantindo assim um ambiente mais saudável e confortável aos trabalhadores.

- Dimensionamento do gabinete

A geometria foi estabelecida de maneira que facilitasse a montagem do gabinete no equipamento, observando-se também a necessidade da troca do reservatório de graxa, além da passagem das mangueiras de ar comprimido e da válvula de controle de graxa. Assim estabeleceram-se as dimensões limites para a construção do gabinete, como é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Desenho 2D do gabinete acústico



O gabinete possui dimensões externas de 380x340x275mm, com aberturas laterais para a passagem da alimentação de ar comprimido, e o sistema de injeção de graxa. As dimensões foram estabelecidas de maneira que possibilitasse a instalação de um material absorvente termoacústico. A Figura 6 mostra o gabinete montado sobre o reservatório de graxa do equipamento.

Figura 6 – Gabinete acústico instalado no equipamento



O gabinete foi constituído, conforme a Figura 7, de compensado de madeira, lã de rocha e lã de PET. Os elementos de fixação são parafusos para facilitar a montagem e desmontagem do gabinete.

Figura 7 – Gabinete acústico em perspectiva



➤ **Compensado de madeira**

A madeira é amplamente utilizada em revestimentos de auditórios e anfiteatros, assim como na produção de instrumentos musicais tais como violinos entre outros instrumentos de corda. A utilização desse material como isolante acústico, em comparação com os demais, se deve pela capacidade de conter a propagação do som devido a sua absorção principalmente em frequências altas, porém ela é menos eficiente em bloquear e refletir as ondas sonoras. Sendo assim, os materiais leves e porosos possuem uma melhor absorção do som. Os compensados são constituídos de várias camadas de madeiras onde há a presença de ar entre elas. A presença desse fluido contribui na redução da vibração através de um sistema massa-mola reduzindo assim a transmissão sonora de um ambiente para o outro. Uma configuração, muito encontrada comercialmente, é a combinação da madeira com um material poroso isolante como a lã de rocha, vidro e pet. Para o projeto do gabinete foi utilizado o compensado de madeira com as seguintes propriedades descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades da madeira compensado

Material	Densidade [Kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo de Young [N/m <sup>2</sup> ]	Coefficiente de Poisson	Coefficiente de Amortecimento
Compensado	650	2,00E+09	0,24	0,04

➤ Lã de rocha

A lã de rocha é um material produzido através da combinação de rocha basáltica, resinas orgânicas, óleos e outros minerais, e tem como principal função ser um isolante termoacústico. Para Bistafa (2011), a lã de rocha se caracteriza como um material de absorção acústica devido a sua característica fibrosa evidenciando uma elevada capacidade de isolamento sonora, agindo no sentido de dissipar a energia que é transformada em energia térmica, limitando assim sua intensidade. No Anexo (Tabela A.1) segue a tabela de absorção acústica fornecida no site do fabricante do material.

➤ Lã de PET

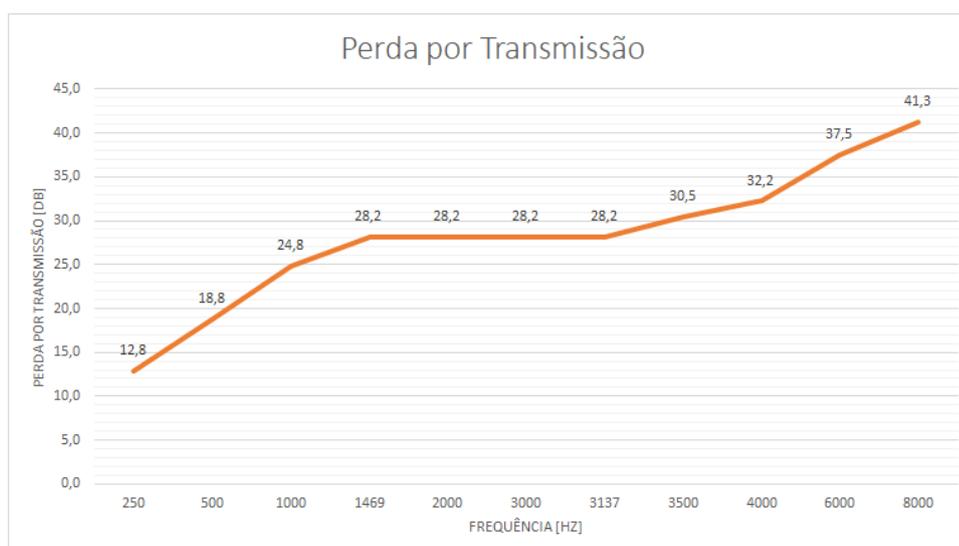
Segundo Klippel et al (2017), a lã de PET é uma alternativa aos materiais usualmente encontrados no mercado para o isolamento e condicionamento acústico. A utilização de resíduos de PET na forma de material fibroso ou lã apresenta um comportamento satisfatório para aplicação em ambientes que necessitem isolamento ou condicionamento acústico. O material apresenta um desempenho típico de absorção sonora de materiais fibrosos com uma maior absorção em médias e altas frequências. O material foi instalado externamente no gabinete com o intuito de compensar as aberturas da montagem e passagem das mangueiras, logo não sendo considerado no cálculo da perda de transmissão.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. DIMENSIONAMENTO TEÓRICO

Através do método de parede simples, visto anteriormente, pode-se definir as frequências e as perdas por transmissão do material conforme apresentado no gráfico da Figura 8.

Figura 8 – Gráfico da perda de transmissão pelo método de paredes simples.



Também foi possível determinar a área de absorção de cada uma das faces do gabinete como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Área de Absorção do gabinete para cada parte do conjunto

Nº do CJ	Orient.	$S_i$ [m <sup>2</sup> ]	$S_i\alpha$ [125Hz]	$S_i\alpha$ [250 Hz]	$S_i\alpha$ [500Hz]	$S_i\alpha$ [1000Hz]	$S_i\alpha$ [2000Hz]	$S_i\alpha$ [4000Hz]
I	Frontal	0,243	0,051	0,085	0,110	0,110	0,113	0,117
II	Anterior	0,243	0,051	0,085	0,110	0,110	0,113	0,117
III	Lat. Dir.	0,194	0,040	0,069	0,091	0,092	0,094	0,097
IV	Lat. Esq.	0,194	0,040	0,069	0,091	0,092	0,094	0,097
V	Superior	0,183	0,038	0,066	0,086	0,086	0,089	0,092
VI	Inferior	0,183	0,038	0,066	0,086	0,086	0,089	0,092

Para o cálculo do nível de pressão sonora dentro do gabinete, se observou experimentalmente o nível da potência sonora do propulsor pneumático através da média das medições com as demais máquinas da linha desligadas. Diante disto, conforme pode ser verificado na Tabela 3, determinou-se o nível de pressão sonora no interior e exterior do gabinete.

Tabela 3 – Nível de pressão sonora teórico interno e externo

$f$	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
$NPS_{int}$	107,88	105,65	105,46	105,20	104,95
$NPS_{ext}$	95,08	86,83	80,62	77,02	72,71

A perda de transmissão e o nível de pressão sonora mostrou um desempenho superior para ondas de alta frequência. Este fenômeno era esperado pois o projeto utilizou um isolante acústico fibroso combinado com madeira compensada, os quais possuem uma boa performance em frequências altas devido às suas capacidades de absorção.

## 4.2. ANÁLISES EXPERIMENTAIS

Com a fabricação e montagem do gabinete acústico para o equipamento de propulsão pneumática, foram realizadas as medições do nível de pressão sonora equivalente, em cada um dos pontos estabelecidos anteriormente, com o intuito de avaliar o comportamento do ruído e o nível de exposição antes e após a proposta de melhoria. Para garantir as condições ideais de medições, além das orientações das normas, foram tomadas as devidas precauções de realizar na mesma localização na planta industrial, horário de execução, instrumentos de medição e dispositivo de fixação.

### 4.2.1. Nível de pressão sonora equivalente

As Figuras 9, 10, e 11 apresentam os gráficos do comportamento do ruído referente aos pontos C, D e G, os gráficos para os demais pontos de medição seguem no apêndice. Nos gráficos, poderá ser observado as medições referentes aos ruídos antes e após a aplicação do gabinete acústico assim como o ruído de fundo.

O gráfico da Figura 9 apresenta os nível de pressão sonora para o ponto C, juntamente com os resultados apresentados na Tabela 4, podemos verificar que os pontos localizados no interior do laboratório (pontos A, B e C) estão em atendimento a norma regulamentadora NR-15, onde estabelece que o colaborador não poderá exceder os limites de exposição ao ruído. A NR-15 estabelece limites para que o ruído não influencie permanentemente na saúde dos colaboradores, entretanto, para avaliação de conforto, o nível apresentado está superior aos 45 dB, o qual segue a recomendação da CNQ 5/2001 para laboratório de metrologia. Nestes pontos

não foi possível identificar uma evidente redução no nível de pressão sonora devido a instalação do gabinete acústico, visto que o  $Leq$  se manteve muito próximo ao valor medido sem a presença do mesmo.

Figura 9 – Gráfico do  $Leq$  referente ao ponto C

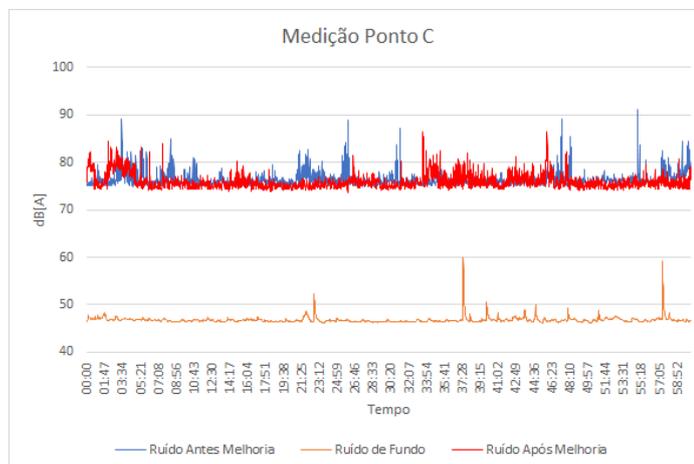


Tabela 4 – Valores referente a média do nível de pressão sonora equivalente em cada ponto.

	Ponto A	Ponto B	Ponto C	Ponto D	Ponto E	Ponto F	Ponto G
$LA_{eq}$ Antes	76,3	76,4	77,3	87,1	85,0	84,8	98,2
$LA_{eq}$ Após	79,3	78,7	76,8	84,4	85,5	85,1	84,9

A Figura 10 apresenta o gráfico referente ao ponto D, localizados na área externa do laboratório próximos a área de montagem das polias de tração. Pode-se verificar a amenização do ruído incidido devido ao funcionamento do propulsor pneumático, o qual pode ser observado em funcionamento nos picos dos minutos 16:49, 33:08 e 57:13. Conseqüentemente, o nível de pressão sonora equivalente no ponto sofreu um decréscimo ficando próximo ao limite estabelecido em norma, conforme observado nos resultados da Tabela 2.

Assim como no gráfico da Figura 10 (ponto D), o gráfico da Figura 11 (Ponto G) apresenta um comportamento semelhante durante a operação do equipamento em estudo. Neste ponto encontra-se o operador do equipamento, responsável pela montagem e acoplamento de eixos, rolamentos e polias de tração, sujeito a elevados níveis de pressão sonora muito próximo aos limites estabelecidos na NR-15.

Figura 10 - Gráfico do  $Leq$  referente ao ponto D

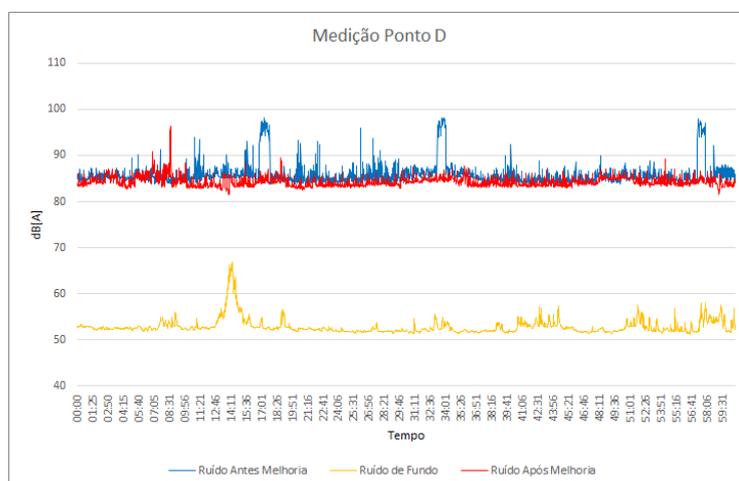
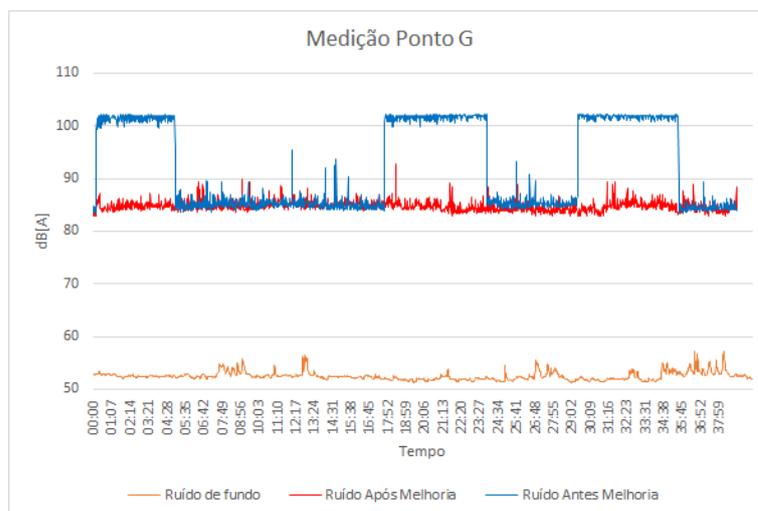


Figura 11 - Gráfico do Leq referente ao ponto G



Os eventuais ruídos de impactos, apresentados nos gráficos, não foram avaliados no presente estudo visto seu comportamento intrusivo alheio ao objeto de medição, sendo originados devido a algum desvio do processo. Visto que as máquinas, presentes nas proximidades do laboratório, não possuem essa característica, além de não apresentarem níveis de ruído de impacto superiores a 120 dB(C), conforme estabelecido na norma NR-15.

#### 4.2.2. Comparação do NPS teórico e experimental

Para meio de comparação entre o nível de pressão sonora experimental e teórico, a Figura 12 apresenta o gráfico relativo ao ponto G com o equipamento de propulsão pneumática de graxa em operação e as demais máquinas desligadas. A Tabela 5 apresenta os resultados do NPS teórico estimado para uma frequência de 1000Hz e o *Leq* médio antes e após a aplicação do gabinete acústico. Observa-se que o gabinete teve um desempenho acima do estimado com uma redução de mais de 30 dB. Este evento se deve ao fato do uso de materiais isolantes, com a vantagem do compensado ser constituído de camadas que auxiliam no amortecimento através do efeito massa/mola e, conseqüentemente, dissipam a energia sonora. Logo, conforme apresenta a Lei de Massa, caso duplique-se a massa das partições do gabinete será obtida uma redução de 6 dB no nível de pressão sonora do sistema, pois quanto maior for a massa menor será a sua vibração.

Figura 12 – Gráfico do Leq (ponto G) com apenas a propulsora pneumática em operação.

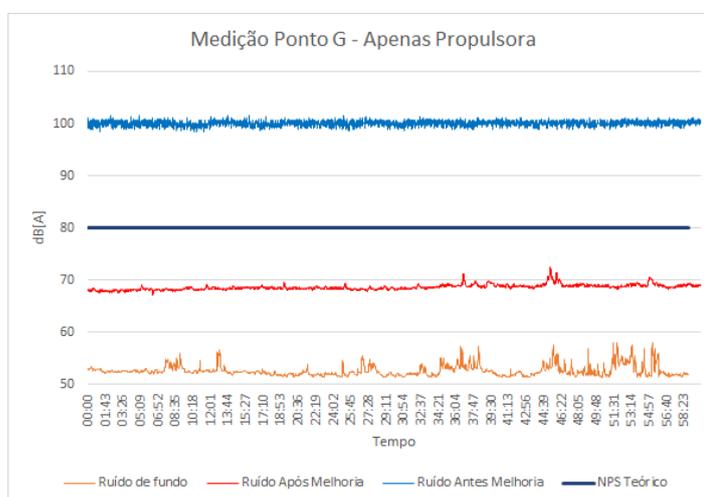


Tabela 5 – Comparativo  $LA_{eq}$  experimental e NPS teórico

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
$LA_{eq}$ – Sem gabinete	99,4 dB
$LA_{eq}$ – Com gabinete	69,0 dB
<b><i>NPS teórico</i></b>	<b>80,6 dB</b>

Diante disso, observa-se uma redução de 30,6% no índice de ruído, podendo ser percebido pelos colaboradores.

#### 4.3. ANÁLISE DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO NORMALIZADO

O nível de exposição normalizado é uma metodologia para aferição do ruído no ambiente de trabalho estabelecido através da NHO-01. A Tabela 6 exibe os níveis de exposição normalizado para cada um dos pontos estabelecidos, observa-se que nenhum dos valores ultrapassou o limite de 85 dB(A) estabelecido em norma NR-15. Com a finalidade de comparar os valores obtidos pelo método da NHO-01 com os valores NR-15, a qual é adotada pelo Ministério do Trabalho e Emprego, verifica-se o NEN, índice no qual é aplicada uma taxa de duplicação da dose.

Tabela 6 – Valores Nível de Exposição Normalizado para normas NHO-01 e NR-15.

		<b>Ponto A</b>	<b>Ponto B</b>	<b>Ponto C</b>	<b>Ponto D</b>	<b>Ponto E</b>	<b>Ponto F</b>	<b>Ponto G</b>
<b>SEM</b>	NEN NHO-01	55,0	59,9	63,8	78,6	76,6	76,4	80,2
<b>GABINETE</b>	NEN (NR-15)	35,1	43,4	49,8	74,4	71,0	70,6	77,0
<b>COM</b>	NEN NHO-01	51,9	63,2	63,9	75,9	77,4	76,4	75,1
<b>GABINETE</b>	NEN (NR-15)	30,0	48,8	49,9	69,8	72,4	70,6	68,6

A norma NHO-01 é baseada em conceitos e parâmetros técnicos-científicos e sua interpretação difere da NR-15, a qual possui os critérios legais estabelecidos para a norma trabalhista. Logo, os valores obtidos através da NHO-01 servirão como baliza para a tomada de ações que previnam e evitem que o limite de exposição seja ultrapassado.

Os pontos D e G apresentavam os maiores níveis de exposição ao ruído com valores próximos ao limite de 80 dB(A) estabelecido pela NHO-01, diante disso se adotaram medidas preventivas a fim de minimizar a probabilidade de exposição que cause danos à saúde do trabalhador. Assim, após a instalação do gabinete acústico, os pontos D e G apresentaram uma redução de 4,6 e 8,4 dB(A), respectivamente, em comparação com os níveis calculados anteriormente.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a análise dos níveis de exposição de ruído aos colaboradores do laboratório de metrologia e da linha de fabricação mecânica, por meio da caracterização dos níveis de pressão sonora e cálculos do nível de exposição normalizado através de uma amostra representativa da jornada de trabalho. Nele foi possível identificar as principais fontes geradoras de ruído que impactam na saúde e conforto acústico dos funcionários.

Foi estabelecido, por meio do método de isolamento sonoro de parede simples, o dimensionamento teórico do gabinete acústico com o intuito de enclausurar o equipamento de propulsão pneumática devido aos seus altos índices de emissão de ruído. Com isso, instalou-se

o gabinete, o qual possui paredes de madeira compensada de 12mm revestidas de 51mm de lã de rocha. Dessa forma determinou-se a curva da perda por transmissão sonora ao longo do campo de frequência estabelecendo uma elevada atenuação do ruído para frequências acima de 1000 Hz, podendo alcançar o NPS de 72,7 dB à 4000 Hz. Este evento se deu ao fato de os materiais escolhidos terem um bom desempenho em altas frequências devido às suas capacidades de absorção.

Através da análise experimental, foram determinados pontos de medição de forma que caracterizasse o ambiente estudado. Por intermédio das medições de campo, foi possível definir que os pontos internos do laboratório apresentaram valores de 79,3, 78,7 e 76,8 dB após a instalação do gabinete, correspondendo aos limites estabelecidos pela norma regulamentadora. Em contrapartida, apresentaram níveis superiores aos estabelecidos para conforto acústico em atividades que requeiram concentração e precisão. Também foi possível verificar que o enclausuramento da fonte geradora de ruído não teve significativo impacto no *Leq* em virtude da variação dos valores encontrados, podendo atribuir isso aos diversos equipamentos e obstáculos que servem como barreira sonora e acabam refletindo as ondas propagadas.

Para os pontos externos ao laboratório, verificou-se a redução do *LAeq* para os pontos D e G que apresentaram, respectivamente, resultados de 84,4 dB e 84,9 dB. Este fato se deu em consequência do enclausuramento da principal fonte gerado de ruído, que apresentou um decréscimo de 2,7 e 13,3 dB respectivamente. Os pontos E e F não apresentaram uma variação nos valores em razão do enclausuramento da fonte sonora, e servem de alerta a necessidade de ações preventivas que maneira que amenizem e diminuam o impacto do ruído naqueles pontos, visto que os mesmos apresentaram valores de 85,5 e 85,1 dB, respectivamente, muito próximo aos limites determinados pela NR-15.

A fim de comparação do nível de pressão sonora antes e depois do enclausuramento, obteve-se os valores do *LAeq* para o ponto G sem que as demais máquinas e equipamentos estivessem em operação. Com isso foi possível observar uma redução de 30,6 % no índice de ruído após a aplicação da melhoria. Este fato se evidencia devido a utilização de materiais isolantes e porosos que auxiliam no amortecimento da vibração e dissipação da energia sonora.

Por fim, obteve-se o nível de exposição normalizado, indicando que os pontos D e G apresentam valores de 78,6 e 80,2 dB sendo necessário a adoção de medidas preventivas. Assim, com a medida de enclausuramento apresentaram, respectivamente, uma redução pelo critério da NR-15 de 4,6 e 8,4 dB. Deve-se salientar que o NEN é uma aproximação estabelecida pela norma NHO-01 para aferir o ruído no ambiente de trabalho para jornadas diferente que oito horas, e que para determinação do real valor da dose de ruído se faz necessário o uso do dosímetro e o cálculo da dose para comparação através da NR-15, a qual o Ministério do Trabalho e Emprego se baseia.

Para projetos futuros, recomenda-se o estudo e caracterização das demais fontes geradoras de ruído propondo melhorias e soluções para reduzir as emissões, como o dimensionamento de barreiras acústica para o processo de pintura, visto a incidência de diversos pontos de ruído ao longo da linha; e por último, visando o conforto dos colaboradores, o projeto de tratamento acústico da sala de metrologia para redução da média da pressão sonora no campo reverberado.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 22 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 25 p.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**, 2. ed. [S.l.]: Blucher, 2011.

CASTRO, A. P. A. S.; RANCURA, R. L. **Conforto Acústico: Ambiental e Lumínico.** Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.

FUNDACENTRO. **Norma de Higiene Ocupacional - Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional do Ruído - NHO 01.** São Paulo. 2001. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 25 p.

Graydon, K., Waterworth, C., Miller, H., & Gunasekera, H. (2019). **Global burden of hearing impairment and ear disease.** *The Journal of Laryngology & Otology*, 133(1), 18-25. doi:10.1017/S0022215118001275

Klippel Filho, S.; Labres, H. S.; Pacheco, F.; Christ, R.; Pires, J. R.; Heissler, R. F.; Oliveira, M. F. **Uso da lã de PET para a absorção sonora e o isolamento acústico.** *Acústica e Vibrações*, No 49.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Norma Regulamentadora 15 - NR 15.** Atividades e operações insalubres. Portaria N° 1.084, 1978.

QUINTAS, J. P. R. **Ruídos em Ambientes de Trabalho: Notas de Aula.** ENG03090 - Ruídos em Ambientes de Trabalho. 2020/1 - UFRGS, 2020.

Recomendação CNQ 5:2001 - **Condições ambientais em laboratório de calibração IPQ**

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica – ouvindo a arquitetura.** São Carlos: EdUFSCar, 2006.

Souza, Hilda Maria Montes Ribeiro de. **Análise experimental dos níveis de ruído produzido por peça de mão de alta rotação em consultórios odontológicos: possibilidade de humanização do posto de trabalho do cirurgião dentista.** [Doutorado] Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 1998. 107 p.

## ANEXO

Figura A.1 – Certificado de calibração do medidor de nível sonoro

LABELO/PUCRS

**Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul**  
**LABELO - Laboratórios Especializados em Eletro-Eletrônica**  
**Calibração e Ensaio**  
**Rede Brasileira de Calibração**

Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a  
 ABNT NBR ISO/IEC 17025 sob o nº CAL 0024.

Página 1 de 10

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO  
 CAL 0024

**Certificado de Calibração** **Nº A0165/2020**

Data da calibração: 02/08/2020  
 Data da emissão do certificado: 03/06/2020

Cliente: 

**Características da Unidade sob Teste (UST):**  
 Tipo de equipamento: Medidor de Nível Sonoro  
 Fabricante: Instrutherm  
 Modelo/Tipo: DEC-490/Tipo 2

Protocolo: C39582  
 Nº de série: 150527956  
 TAG: 8000-10

**Procedimento(s) de Calibração Utilizado(s):**  
 PC A02 - Revisão: 1

**Método:**  
 Leitura relativa ao sinal de referência.

**Padrão(ões) Utilizado(s):**

- Norsonic 483B - Certificado de Calibração nº E1452/2019 do LABELO - Válido até 09/2020
- Stanford DS360 - Certificado de Calibração nº E1827/2019 do LABELO - Válido até 11/2020
- Brüel & Kjær 4231 - Certificado de Calibração nº A0421/2019 do LABELO - Válido até 08/2021
- Thommen HM30 - Certificado de Calibração nº T0007/2020 do LABELO - Válido até 01/2022
- Thommen HM30 - Certificado de Calibração nº M02610-19 do SETTING - Válido até 03/2021

Obs: Padrões rastreados aos padrões primários nacionais e internacionais.

**Norma(s) de Referência:**

- IEC 60651:1979 - Sound Level Meters. Genebra, Suíça.

*Atestado*

**Observações:**

- Os resultados da calibração estão contidos em tabelas anexas, que relacionam os valores indicados pelo instrumento sob teste, com valores obtidos através da comparação com os padrões e as incertezas estimadas da medição (IM).
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência "k", para uma distribuição de probabilidade tipo t-Student, com graus de liberdade efetivos (veff) correspondentes a um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com o "Guia para Expressão da Incerteza de Medição", Terceira Edição Brasileira.

Av. Ipiranga nº 6681, Prédio 30, Bloco A, Sala 210 – Partenon – CEP 91501-900 – Porto Alegre – RS – Brasil  
 Telefone: (51) 3320 3551 – Fax: (51) 3320 3883 – labelo@pucrs.br – www.labelo.com.br

Figura A.2 – Limites de tolerância para ruído contínuo e intermitente (NR-15)

**LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA RUÍDO CONTÍNUO OU INTERMITENTE**

NÍVEL DE RUÍDO dB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Tabela A.1 - Coeficiente de absorção acústica (ISO/R 354 e ASTM C 423)

Produto	Espessura (mm)	Frequência (Hz)						NCR
		125	250	500	1000	2000	4000	
DENS-32	51	0,16	0,52	0,82	0,92	0,94	0,96	0,80

## APÊNDICE

Figura A.3 – Gráfico nível de pressão sonora equivalente no ponto A

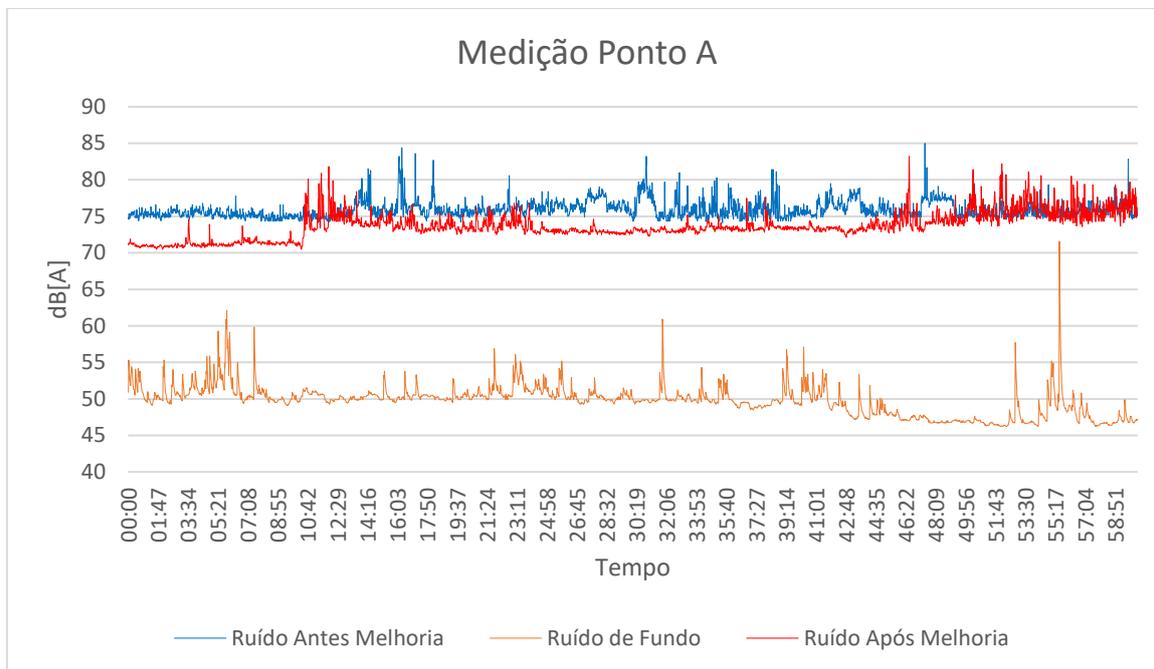


Figura A.4 – Gráfico nível de pressão sonora equivalente no ponto B

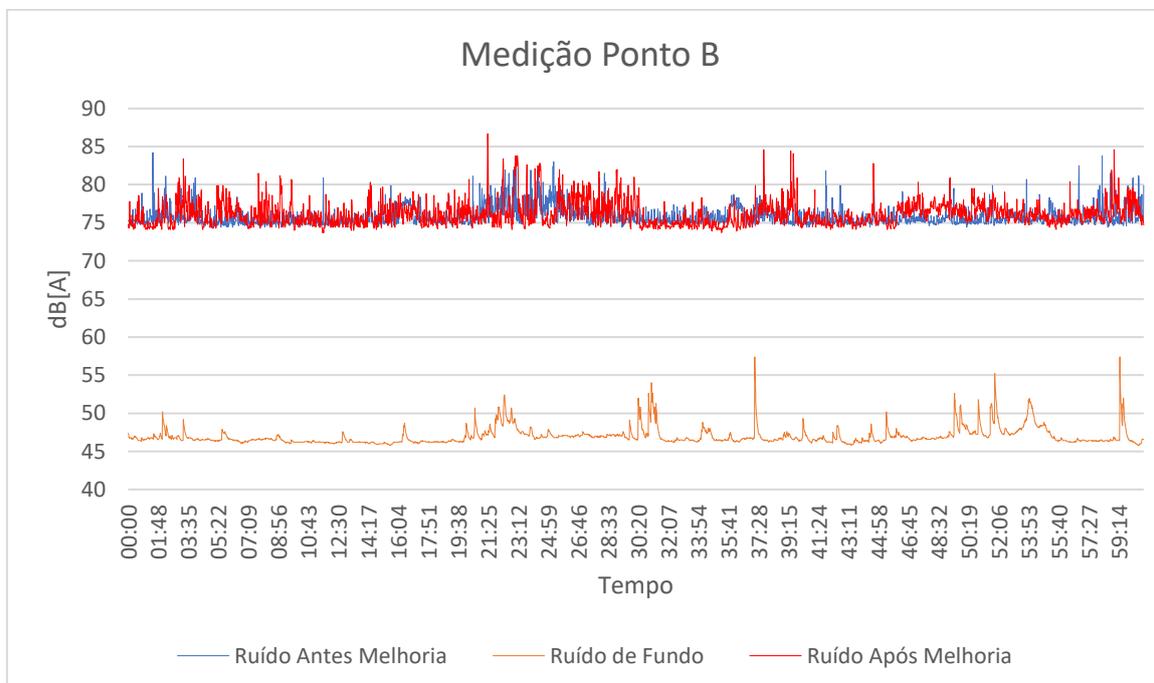


Figura A.5 – Gráfico nível de pressão sonora equivalente no ponto E

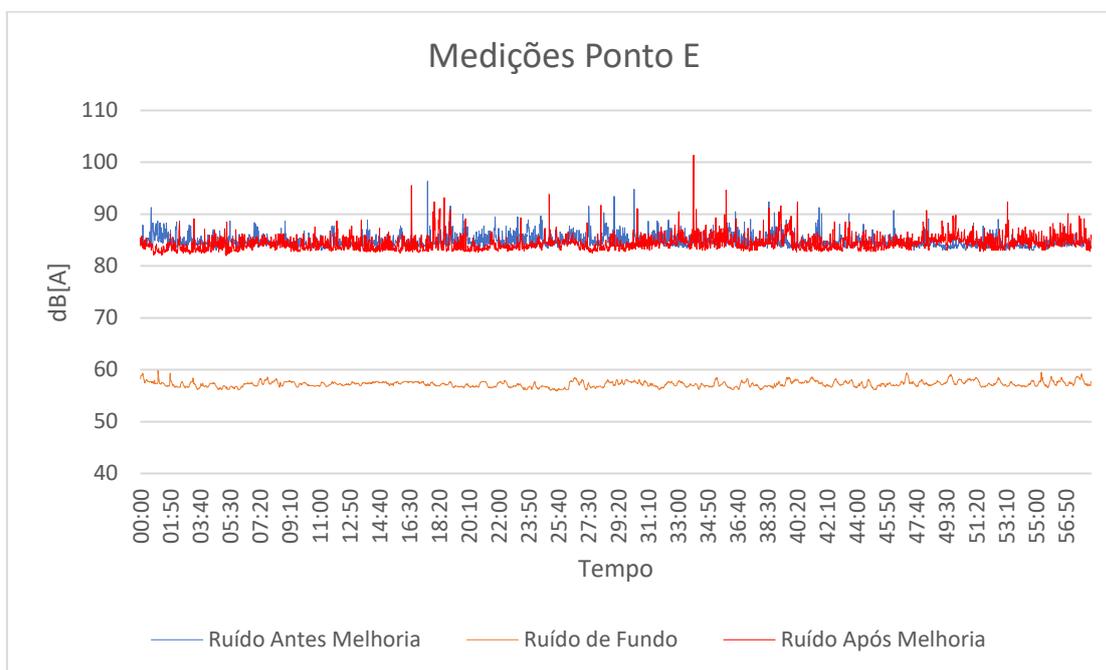


Figura A.6 – Gráfico nível de pressão sonora equivalente no ponto F

