

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

MAPEAMENTO E ANÁLISE ACÚSTICA NA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA EM UM
CENTRO DE SAÍDA DE LAMINADOS

por

Alexandre Davi Rocha Fernandes

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, abril de 2022

CIP - Catalogação na Publicação

Fernandes, Alexandre Davi
MAPEAMENTO E ANÁLISE ACÚSTICA NA INDÚSTRIA METAL
MECÂNICA EM UM CENTRO DE SAÍDA DE LAMINADOS /
Alexandre Davi Fernandes. -- 2022.
26 f.
Orientadora: Leticia 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, 2022.

1. análise acústica. 2. Ruido. 3. som. I. Miguel,
Leticia Fleck Fadel, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Alexandre Davi Rocha Fernandes

MAPEAMENTO E ANÁLISE ACÚSTICA NA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA EM UM
CENTRO DE SAÍDA DE LAMINADOS

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. CIRILO SEPPI BRESOLIN
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte/Processos de Fabricação/Mecânica dos Sólidos

Orientador: Prof^ª. Dr^ª Letícia Fleck Fadel Miguel

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Edson Hikaro Aseka

Prof. Dr. Ignácio Iturrioz

Prof^ª. Dr^ª Letícia Fleck Fadel Miguel

Porto Alegre, abril de 2022

DEDICATÓRIA

Trabalho dedicado a todos que de alguma forma contribuíram com o meu desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e minha irmã, o meu muito obrigado. Lançaram mão de todos os recursos disponíveis para que essa conquista fosse alcançada. Vocês formam um dos pilares nessa longa trajetória.

Aos professores e professoras que ao longo de toda a minha trajetória tive o prazer de absorver conhecimento e trocar experiências desde o meu início nos estudos, minha eterna admiração e meu gigantesco agradecimento. Muito obrigado pela dedicação ao ensino, vocês foram de extrema importância ao longo de todos esses anos da minha vida. Tenho convicção que a educação é a chave para um futuro próspero.

Aos amigos e amigas, acompanharam ao longo da jornada. Vocês foram essenciais para a realização deste sonho. Por cada momento, cada conversa, cada conselho dado e por toda parceria e amizade comigo, meu eterno obrigado. Sem vocês nada disso seria realidade. Para este relatório, em especial, ao meu colega e grande amigo Gabriel Jaques Menoni que solicitamente acompanhou e disponibilizou os materiais para a efetuação das medições apresentadas. Muito obrigado.

À MMC LAB Controle Tecnológico, o meu agradecimento por emprestar os instrumentos de medição utilizados ao longo de todo o estudo de caso apresentado neste relatório. Meus sinceros agradecimentos.

Às empresas STIHL Ferramentas motorizadas, NEXTEER *Automotive* e Gerdau riograndense por contribuírem de forma prática na minha formação como profissional. Agradeço pela oportunidade, colaboração e confiança depositada em mim. Levo e guardo com carinho os momentos na qual tive o prazer de realizar trabalhos junto a essas grandes equipes. Muito obrigado.

Em especial, meu eterno agradecimento ao meu filho. Após o nascimento, me faz olhar o mundo de outra forma, me transforma diariamente em uma pessoa mais responsável, sensata e equilibrada. Te amo sempre, tu és meu combustível e minha personificação de amor.

A persistência é o caminho do êxito.

Charles Chaplin

R. FERNANDES, Alexandre Davi. **Mapeamento e análise acústica na indústria metal mecânica em um centro de saída de laminados**. 2022. 25f. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

RESUMO

A análise e estudo em questão se motiva pelo alto índice de pressão sonora existente no ambiente de produção, o qual é local onde ocorrem reuniões diárias de diálogo de segurança e acompanhamento de indicadores pertinentes ao processo. O alto índice de ruído impossibilita a passagem da informação com clareza e qualidade. Neste contexto, foram realizadas medições acústicas em 13 pontos diferentes do local onde o maior nível foi de 86,3 dB(A), efetuando um mapeamento, analisado os dados obtidos de frequência de emissão e intensidade sonora nos pontos propostos e sugeridas melhorias para atenuar o ruído. Os resultados esperados das medições são a faixa de frequência do ruído e níveis de pressão sonora, além de possíveis melhorias para atenuar as frequências críticas.

PALAVRAS-CHAVE: Análise acústica, ruído, poluição sonora

R. FERNANDES, Alexandre Davi. Mapping and acoustic analysis in metalworking industry in a lamination outlet center. 2022. 25f. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

ABSTRACT

The analysis and study in question is motivated by the high level of sound pressure existing in the production environment, the environment in question is the place where daily safety dialogue meetings and monitoring of indicators relevant to the process take place. The high level of noise makes it impossible to pass information with clarity and quality. Acoustic measurements will be carried out at 13 spots of the site the highest value was 86,3 dB(A), carrying out a mapping, analyzing the data obtained on emission frequency and sound intensity at the proposed spots and suggested improvements to attenuate the noise. Expected results of measurements are noise frequency range and sound pressure levels, plus possible improvement to attenuate critical frequencies

KEYWORDS: acoustic analysis, noise, noise pollution

NOMENCLATURA

Símbolos

dB	Decibel	
dB(A)	Decibel com ponderação A	
I	Intensidade sonora	W/m ²
I_{ref}	Intensidade de referência	10 ⁻¹² W/m ²
L	Nível sonoro ponderado em A	dB(A)
L_{Aeq}	Nível de pressão sonora equivalente em A	dB(A)
L_1	Nível sonoro	dB
L_p	Nível de pressão sonora	dB
L_w	Potência sonora	W
PBT	Peso bruto total	kg
R	Ruído de teste	dB(A)
RF	Ruído de fundo	dB(A)
RL_{Aeq}	Máximo nível de pressão sonora equivalente em A	dB(A)

Símbolos

gregos		
ρ	Massa específica do sólido	[kg m ⁻³]

Abreviaturas e acrônimos

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial de Saúde
RBC	Rede Brasileira de Calibração
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	1
2.1 Objetivos gerais	1
2.2 Objetivos Específico.....	1
3. FUNDAMENTAÇÃO.....	2
3.1 Som e ruído.....	2
3.2 Propagação Sonora	2
3.3 Intensidade e potência sonora.....	3
3.4 Nível de pressão sonora e sensação auditiva	4
3.5 Nível de pressão sonora equivalente	5
3.6 Outras medidas importantes	6
3.7 Isolamento acústico	6
4. ESTUDO DE CASO	7
4.1 Caracterização do entorno	9
4.2 Ensaio	10
4.3 Tratativa de dados.....	11
4.4 Propostas de melhorias	11
5. RESULTADOS	12
7. CONCLUSÃO.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
ANEXO A – NR 15 – ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES	16

1. INTRODUÇÃO

O ruído é um fenômeno no qual um som ou conjunto de sons indesejáveis causam algum tipo de desconforto ou incômodo. O ruído industrial, como o nome já diz, é oriundo ao funcionamento de máquinas, motores, sirenes, ventiladores, choque mecânico entre componentes e peças, deformação de materiais entre outros. O alto índice de pressão sonora aliado a longas jornadas de trabalho e de exposição ao ruído são os principais fatores causadores de danos à audição do trabalhador que atua na indústria metal mecânica. De acordo com a OMS, a poluição sonora perde apenas para a poluição do ar no ranking das poluições (WHO, 1999).

A exposição frequente e prolongada a altos índices de ruídos podem gerar diversos problemas de saúde, desde a surdez parcial ou total até problemas cognitivos podendo gerar estresse, irritabilidade, desordens psicológicas e fisiológicas, como falta de concentração, pressão alta entre outras diversas complicações. Como forma de preservar a integridade dos trabalhadores, normas regulamentadoras regem os limites de exposição das pessoas ao ruído, como é o caso da NBR 10151 da ABNT e a NR15 que abordam a regulamentação dos limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.

O estudo constante da poluição sonora em ambientes industriais se torna imprescindível, uma vez que está diretamente associado a leis trabalhistas e questões de saúde. A fim de combater a poluição sonora existem cartas acústicas ou mapas de ruídos. O mapeamento de ruídos é realizado através de caracterizações de diversas fontes sonoras no entorno do local a ser estudado. É uma técnica extremamente poderosa, pois ela é capaz de ajudar no combate a esse tipo de poluição, possibilitando visualizar quais são as áreas mais ruidosas e propor soluções de forma eficaz.

Neste contexto, o presente trabalho realiza o mapeamento de ruído de um centro de laminação de barras, o local exato de medição é a saída de laminados e dentro da célula responsável pelo endireitamento de barras não conforme. Este local é ambiente de reuniões diárias sobre segurança e acompanhamento de indicadores, atualmente o ruído excessivo não permite que a informação chegue aos colaboradores de forma limpa e clara. A solução utilizada nos dias atuais é justamente utilizar equipamentos sonoros para amplificar a voz contribuindo mais para que haja poluição sonora. A partir do estudo realizado, pode-se pensar em soluções para atenuar o ruído e garantir que a informação chegue na sua integridade às pessoas interessadas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

O principal objetivo do trabalho é medir, analisar e propor soluções para atenuar o ruído proveniente de máquinas, sirenes, ventiladores e ruídos de choques mecânicos entre as barras laminadas e o leito de resfriamento no local ocorrem reuniões diárias de segurança e acompanhamento de indicadores de produção de uma fábrica de laminação.

2.2 Objetivos Específico

Com o auxílio de um sonômetro integrador no tempo o trabalho tem como objetivo mapear acusticamente o entorno do local onde ocorrem as reuniões, apresentando as bandas de frequência que mais impactam e os níveis de ruído incidentes em 13 pontos próximos ao local central.

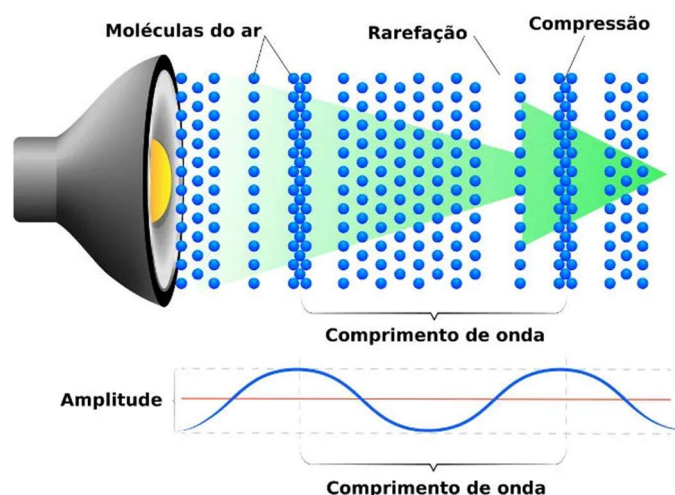
3. FUNDAMENTAÇÃO

3.1 Som e ruído

O som é um fenômeno ondulatório vibracional que utiliza o meio para se propagar de forma longitudinal, através das variações de pressão do meio elástico em que se encontra, como por exemplo água e ar mostrado na Figura 1. Por se tratar de uma onda mecânica, há a necessidade de propagação através de um meio. A vibração transmitida ao meio propaga-se com diferentes velocidades dependendo da densidade do material de propagação, quanto mais denso o material, maior será a velocidade de propagação.

O som é uma sensação auditiva que nossos ouvidos são capazes de detectar. Esta sensação é produzida pelo movimento organizado das moléculas que compõe o ar (Donoso, 2006).

Figura 1: Ilustração da compressão e rarefação das moléculas causadas pela variação de pressão sonora



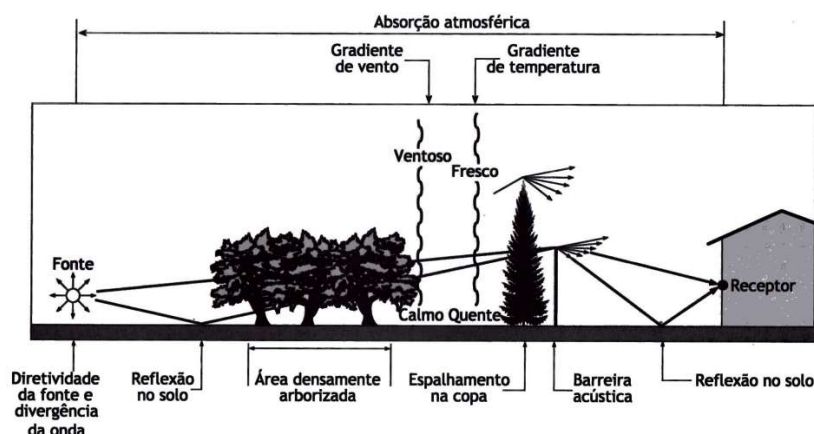
Fonte: Adaptado de Mundo da educação 2020

Já o ruído é todo som que não é desejado. Sendo assim, torna-se totalmente subjetivo, pois ora um som pode ser agradável, ora não. Desta forma, o ruído é todo som que interfere de forma negativa na compreensão ou no entendimento da informação, podendo gerar incômodo ou não para o ouvinte. Como não possuem distinção física, o ruído é definido apenas como sendo um ou conjunto de sons desagradáveis.

3.2 Propagação Sonora

O ruído chega ao ouvinte por diversos caminhos. Destaca-se propagação em locais aberto, que, independentemente da potência e da fonte sonora, tem sua energia atenuada enquanto percorre sua trajetória até o receptor. Essa atenuação, representada na Figura 2, é o resultado de diversos mecanismos que dificultam o seu movimento, tais como absorção sonora, barreiras, obstáculos e efeitos das condições atmosféricas (HANSEN, 2003).

Figura 2: Principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre



Fonte: Bistafa (2011)

O nível de pressão sonora se reduz com o aumento da distância entre a fonte e o receptor. Além de reflexão no solo, o som é atenuado por barreiras naturais e artificiais que estão na trajetória de propagação do som, fazendo com que o som perca energia durante todo o caminho. Estas barreiras podem ser posicionadas de forma proposital ou de forma natural aleatória buscando um conforto acústico.

3.3 Intensidade e potência sonora

A equação 1 apresenta a intensidade sonora definida como a taxa do fluxo de energia perpendicular à direção de propagação da onda (GERGES,2020)

$$I = \frac{W}{A} \quad (1)$$

Onde W (Watts) é a potência e A (m²) é a área perpendicular à direção de propagação.

A equação 1 pode ser trabalhada matematicamente para obter o resultado logarítmico, uma vez que a escala linear não é a mais adequada para avaliar e medir a faixa de valores abrangente e, também, pode-se considerar que o ouvido humano responde aproximadamente a uma função logarítmica (PATRÍCIO,2010). A equação 2 representa o nível de pressão sonora expresso em decibéis (dB) que correspondem a um décimo de Bel.

$$L_1 = 10 \text{Log}_{10}\left(\frac{I}{I_{ref}}\right) \text{ dB} \quad (2)$$

Onde I é a intensidade, apresentada na equação 1 em (W/m²), e I_{ref} é o valor da intensidade de referência, corresponde a 10⁻¹²W/m² na frequência de 1000 Hz.

Sendo assim, 1 dB equivale a $\frac{I}{I_{Ref}} = 10^{0,1}$, ou seja, é equivalente a falar que quando há uma variação de 1 dB a intensidade sonora varia 1,26 vezes. De forma análoga, pode-se notar que quando há a variação de 3 dB corresponde a 10^{0,3} ou seja, aproximadamente 2, significando que a cada 3 dB de variação a intensidade sonora duplica.

A equação 3 apresenta a potência sonora (L_W) ou energia sonora emitida por unidade de tempo, em Watts (PATRÍCIO,2010).

$$L_W = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{W}{W_{ref}} \right) \text{ dB} \quad (3)$$

Em que W é a potência sonora da fonte, em Watts, W_{Ref} é o valor da potência sonora de referência, equivalente a 10^{12} Watts.

3.4 Nível de pressão sonora e sensação auditiva

A pressão sonora ou nível de pressão sonora é o resultado das variações de pressão da massa de ar obtidas pelas ondas sonoras. A menor pressão sonora que pode ser ouvida por humanos é chamada de limiar de audição e a mais alta que pode ser suportada é conhecida como limiar da dor. A pressão do som no limiar da dor é um milhão de vezes maior que a pressão do som no limiar da audição.

O nível de pressão sonora pode ser considerado como descritor acústico mais utilizado, uma vez que é o estímulo físico que melhor se relaciona com a sensação de som (BISTAFA,2011). Na literatura, Bistafa explica que o nível de pressão sonora L_p é a medida física para representar a sensação subjetiva da intensidade de som.

O nível de pressão sonora L_p é apresentado por bandas de frequência, com larguras de uma oitava ou um terço de oitava e a média é expressa em dB segundo a equação 4.

$$L_p = 10 \text{Log}_{10} \frac{P^2}{P_0^2} \text{ dB} \quad (4)$$

Onde P é a pressão e P_0 é a pressão de referência que corresponde ao mínimo de pressão audível, limiar da audição, na frequência de 1000 Hz e possui valor igual à $2,0 \times 10^{-5}$ N/m².

O corpo humano possui um sistema sensorial para o sentido da audição, o sistema auditivo. Inclui tanto os órgãos sensoriais, os ouvidos responsáveis por receber a diferença de pressão, quanto as partes auditivas do sistema que fazem a conversão das vibrações causadas pela energia da pressão sonora em diferentes frequências no que se entende como som. O ouvido humano tem comportamento diferente para diferentes frequências. Por exemplo, a sensibilidade auditiva é menor para frequências baixas na banda de 100 Hz a 800 Hz e para altas frequências, acima de 10 kHz. Um bom exemplo disso é avaliar a sensibilidade causada por diferentes níveis de pressão sonora em diferentes frequências. Um tom a 100 Hz precisa ter 5 dB a mais para gerar a mesma sensibilidade que um tom de 1000 Hz a 80 dB (GERDES,2000)

Por essa razão, utiliza-se a curva de correção na escala (A), que aplica correções principalmente em baixas frequências, faixa na qual o ouvido interpreta o ruído em menor intensidade quando comparada às frequências médias (MURGEL, 2007). O valor da pressão sonora na escala (A) traduz um valor único a pressão sonora interpretada pelo ouvido humano. A equação 5 representa o nível sonoro em dB (A) (PATRÍCIO,2010).

$$L_p = 10 \text{Log}_{10} \sum_i 10^{0,1(L_{pi} + C_i)} \text{ dB(A)} \quad (5)$$

Onde L_{pi} representa o nível de pressão sonora em cada uma das bandas de frequência i avaliadas e C_i as correções correspondentes à ponderação (A). Os Valores para C_i estão mostrados na tabela 1, para a banda audível de frequência de 10Hz a 20.000Hz.

Tabela 1: Correções correspondentes à percepção auditiva na escala (A)

Bandas de Frequência (Hz)	Correção da curva (A) C_i dB(A)	Bandas de Frequência (Hz)	Correção da curva (A) C_i dB(A)	Bandas de Frequência (Hz)	Correção da curva (A) C_i dB(A)
10	-70,4	160	-13,4	2500	1,3
12,5	-63,4	200	-10,9	3150	1,2
16	-56,7	250	-8,6	4000	1,0
20	-50,5	315	-6,6	5000	0,5
25	-44,7	400	-4,8	6300	-0,1
31,5	-39,4	500	-3,2	8000	-1,1
40	-34,6	630	-1,9	10000	-2,5
50	-30,2	800	-0,8	12500	-4,3
63	-26,2	1000	0	16000	-6,6
80	-22,5	1250	0,6	20000	-9,3
100	-19,1	1600	1,0	-	-
125	-16,1	2000	1,2	-	-

Fonte: Adaptado de Gerges (2010)

3.5 Nível de pressão sonora equivalente

Embora o nível o nível de pressão sonora L_p seja a medida mais utilizada, ele não leva em consideração o tempo de exposição ao som. Desta forma, utiliza-se o nível de pressão sonora equivalente L_{Aeq} medida constituída pela integração do nível de pressão medido a cada fração de segundo.

O manual do decibelímetro da empresa Brüel & Kjær (2005) define o nível de pressão sonora equivalente da seguinte forma: O L_{Aeq} é a medida da energia média de um nível sonoro variável dentro de um determinado intervalo de tempo (Brüel & Kjær, 2005). Pode-se observar na equação 6 o nível de pressão sonora equivalente em escala A dB(A)

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \sum_i 10^{0,1L_i} \text{ dB(A)} \quad (6)$$

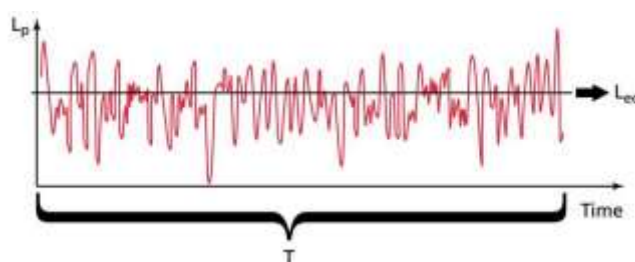
Onde o termo L_i representa o nível de pressão sonora em dB(A) obtido a cada 5 segundos, durante o tempo total de medição T.

Outra definição é apresentada por Bistafa (2011). Devido à variação aleatória do ruído, utiliza-se o nível equivalente, que representa a média da energia sonora no tempo de observação T mostrado na equação 7 sem correção da escala A.

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2}{p_0^2} dt \right) \text{ dB} \quad (7)$$

Na Figura 3, pode-se observar uma representação do nível de pressão sonora equivalente.

Figura 3: Representação das medições de pressão sonora e representação da pressão sonora equivalente



Fonte: Manual decibelímetro Brüel & Kjær

Percebe-se na Figura 3, que o valor de L_p apresenta diversas variações e picos ao longo do tempo, porém o parâmetro acústico L_{eq} representa média dos valores no intervalo medido.

3.6 Outras medidas importantes

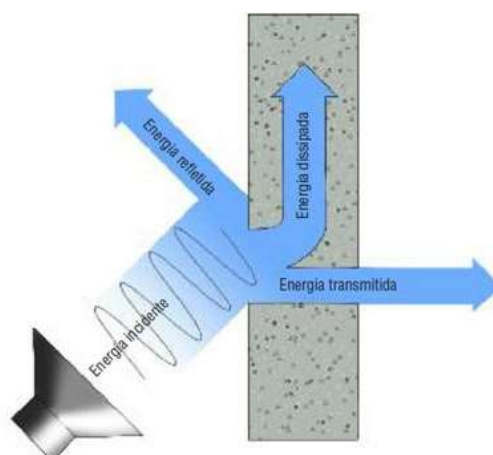
Algumas medidas estatísticas importantes podem ser registradas em sonômetros modernos, sendo:

- L_{A10} : Nível de pressão sonora excedido em 10% do tempo de medição, podendo ser interpretado como sendo ruídos intrusivos ou até mesmo picos de medição durante a medição;
- L_{A90} : Nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo de medição, podendo ser interpretado como sendo o ruído de fundo do local;
- L_{Amax} : Nível de pressão sonora máximo captado durante todo o período de medição.

3.7 Isolamento acústico

Processo pelo qual se procura evitar a penetração ou a saída de ruídos ou sons em um determinado recinto. O isolamento acústico compreende a proteção contra ruídos ou sons aéreos e ruídos ou sons de impacto (NBR 12179/1992). Para um bom isolamento acústico é necessário que as paredes do ambiente sejam produzidas com materiais com boa capacidade de absorver a energia sonora emitida sobre o material. Para entender este fenômeno definem-se alguns coeficientes a partir da análise das energias envolvidas mostrada na Figura 4.

Figura 4: Energias sonoras



Fonte: Adaptado do portal acústica

Para o nosso estudo analisa-se o coeficiente de absorção sonora do material (α), que nada mais é do que a relação entre a energia absorvida pelo material e a energia incidente mostrado na equação 8.

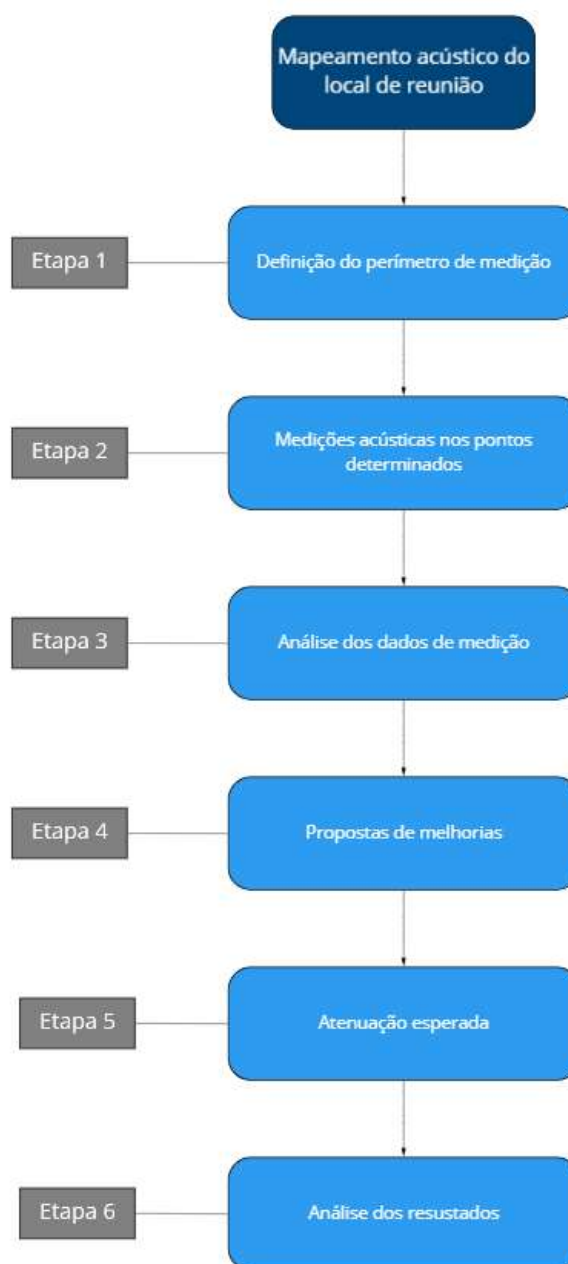
$$\alpha = \frac{E_d}{E_i} \quad (8)$$

Sendo E_d a energia dissipada no material e E_i a energia incidente sobre o material. O coeficiente é uma característica do material e apresenta um valor que varia de 0 a 1, quanto maior o coeficiente, maior a taxa de absorção do material. A unidade de absorção é denominada Sabine. Em geral, existe a variação do coeficiente de absorção em função da frequência do som.

4. ESTUDO DE CASO

O trabalho tem como escopo o estudo e mapeamento acústico de um centro de laminação, mais especificamente a saída de laminados de um grande centro de laminação a quente. Salienta-se que as medições foram realizadas durante a pandemia da COVID-19 em meio a decretos municipais que restringem a quantidade de pessoas atuando no local. Portanto, os resultados aqui apresentados podem apresentar variações comparados a períodos sem restrições e em pleno funcionamento. O estudo se divide em 6 etapas, conforme apresentada na Figura 5.

Figura 5: Fluxograma de etapas do trabalho



Fonte: Autor

As etapas são caracterizadas da seguinte maneira:

- Etapa 1: Estudo do entorno: verificação e identificação das fontes sonoras que compõe o ambiente e definição dos pontos a serem medidos.
- Etapa 2: Medições acústicas nos pontos determinados com a utilização de um sonômetro
- Etapa 3: Tratativas e análise dos dados obtidos na etapa 2 nos pontos determinados
- Etapa 4: Estudos de soluções aplicáveis ao caso para atenuar o alto índice de pressão sonora, levando em consideração o espaço físico e a quantidade de máquinas no perímetro.

- Etapa 5: Estimativa de atenuação esperada a partir do resultado da etapa 4, etapa de estudo de possibilidade e atenuação
- Etapa 6: Conclusão: análise dos resultados obtidos das medições e a proposta de melhoria.

4.1 Caracterização do entorno

O local de realização das reuniões diárias acontece é o GEMBA (palavra de origem japonesa que representa o local onde é agregado valor, a grosso modo é no chão de fábrica) da saída de laminados de um grande centro de laminação de barras perfiladas mostrado na Figura 6.

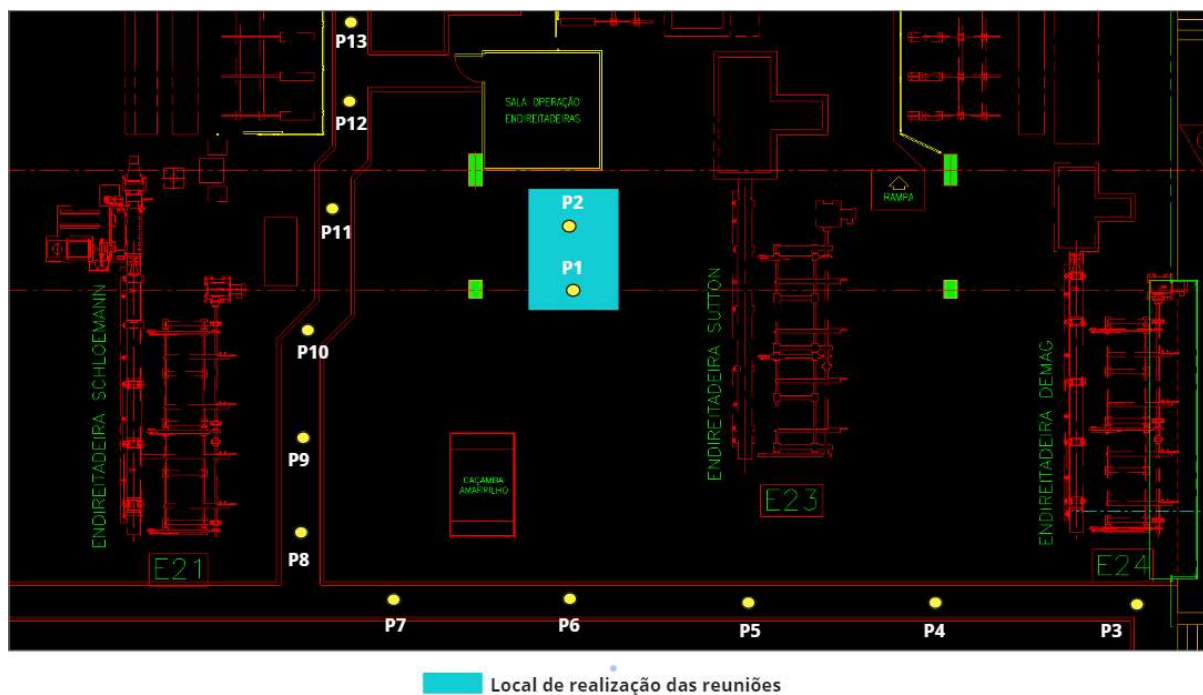
Figura 6: Local de realização da reunião



Fonte: Autor

Foram escolhidos 13 pontos (P1, P2, P3, ..., P13) nas proximidades do local para realização das medições, considerando as principais fontes geradoras de som do local e pontos seguros de acesso conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7: Disposição dos pontos no local de medição



Fonte: Autor

4.2 Ensaio

As medições foram realizadas de acordo com os procedimentos padrões com a utilização de um sonômetro integrador no tempo com range de aquisição de dados de 6,3 Hz a 20kHz modelo Fusion, Classe 1 do fabricante 01dB com certificado de calibração nº: RBC1-11442-376. Utilizado para calibração do equipamento um calibrador de nível sonoro do fabricante 01dB, modelo Cal31, classe 1 com certificado de calibração nº RBC2-11445-375 e SIST2-11445-375 e também utilizado um microfone de ½ polegada condensador pré-polarizado do fabricante GRAS, modelo 40CE.

Pré medições o sonômetro foi calibrado com o calibrador. O calibrador emite um nível de pressão sonora de 94dB a uma frequência de 1kHz e o sonômetro é responsável por captar a pressão sonora e informar ao usuário no momento da calibração. As Calibrações foram realizadas antes e após as medições, afim de garantir a qualidade de aferição da instrumentação. Caso a diferença entre calibrações seja maior do que 0,5dB para mais ou para menos, a calibração e o ensaio devem ser refeitos e caso o instrumento persista em apresentar valores fora a faixa de tolerância o instrumento deve ser enviado para laboratório responsável para calibrar ou realizar manutenção caso necessário.

As medições foram realizadas durante o turno da manhã entre 9h e 12h em um dia com o processo de produção instável com paradas de produção. O material produzido na ocasião eram barras perfiladas leves e no momento de medições as máquinas endireitadeira E23 e a E24 mostradas na Figura 6 estavam desligas por falta de operadores, seguindo o protocolo COVID que restringe o número de pessoas no ambiente.

As principais fontes sonoras identificadas na ocasião foram a endireitadeira E21 mostrada na Figura 6, o leito de resfriamento, localizado abaixo dos pontos P3 a P7 conforme Figura 6, ventiladores localizados próximos ao ponto P7, choque mecânico entre barras no deslocamento

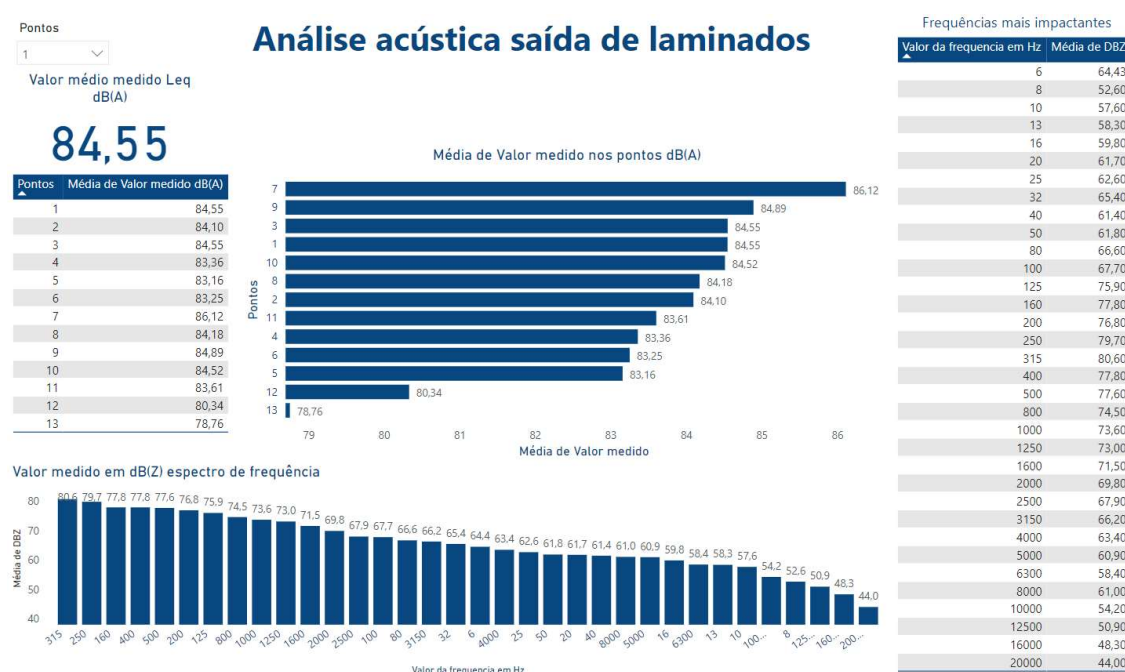
das mesmas e eventuais sirenes provenientes das pontes rolantes que atuam no ambiente. Por uma questão de produção, não houve intervenção no processo.

Com o auxílio de tripé foram realizadas as medições em cada ponto proposto, em média, com duração de 30 segundos com uma taxa de aquisição de 1 registro por segundo. O que se espera de cada medição são os níveis de pressão sonora e a banda de distribuição de frequência.

4.3 Tratativa de dados

Após a realização das medições acústicas nos pontos determinados, os dados coletados foram devidamente tratados e analisados. Com o auxílio das ferramentas Excel® e PowerBI®, foi construído um *dashboard* para realizar as análises quantitativas das medições, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8: Dashboard para análise de dados



Através do painel e utilizando os dados medidos pode-se observar informações pertinentes de forma geral ou analisar-se os 13 pontos de medição individualmente. Consegue-se extrair informações por exemplo, o maior valor medido nos pontos com a correção da escala A, ou então o espectro de distribuição das medições em relação a frequência para a tomada de decisão de como atenuar o ruído no ambiente.

4.4 Propostas de melhorias

A partir dos dados analisados e disposição de espaço disponível, foi considerado algumas hipóteses para atenuação do ruído. Conhecendo o espectro de frequência da fonte de emissão das ondas sonoras pode-se discutir sobre quais materiais são melhores para absorverem a energia mecânica.

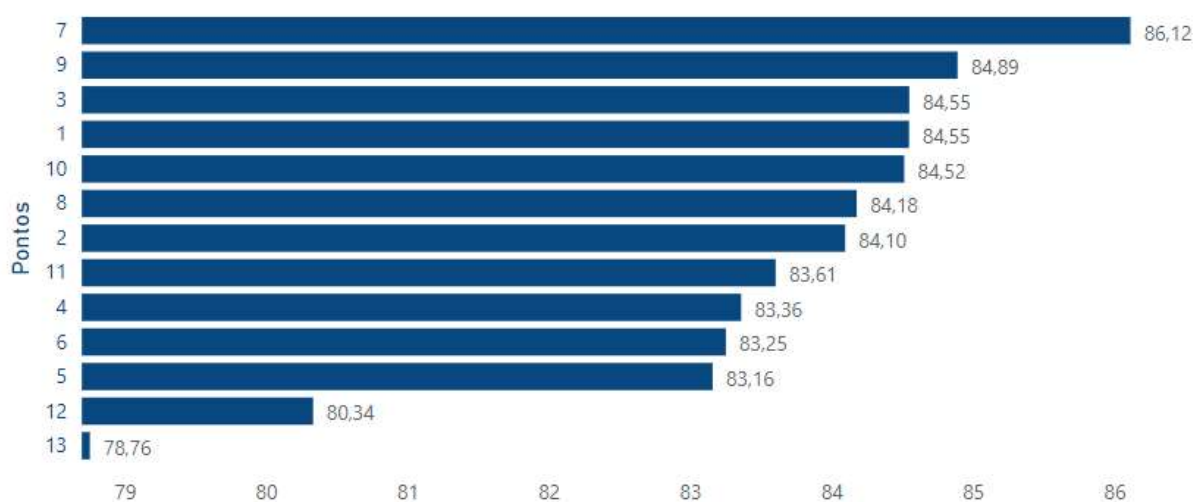
5. RESULTADOS

Após a realização das medições, os valores encontrados nos 13 pontos medidos estão mostrados na Tabela 2. Sendo L_{eq} a média dos valores medido utilizando o ajuste da escala A medido em dB, L_{Min} o valor mínimo medido no intervalo de medição em dB, o L_{Max} o maior valor medido durante o intervalo de tempo em dB, L_{90} sendo o valor em dB na qual 90% do tempo medido ficou acima e L_{10} sendo o valor em dB na qual 10% do tempo ficou acima.

Tabela 2: Resultados das medições nos 13 pontos medidos

Ponto de medição	L_{Aeq} (dB)	L_{Min} (dB)	$L_{Máx}$ (dB)	L_{A90} (dB)	L_{A10} (dB)
Ponto 1	84,6	83,3	89,4	83,4	86
Ponto 2	84,1	83,0	90,2	83,0	85,8
Ponto 3	84,6	84,1	85,4	84,1	84,8
Ponto 4	83,4	83,0	84,3	83,0	83,6
Ponto 5	83,2	82,7	83,6	82,8	83,4
Ponto 6	83,3	83,0	83,5	83,0	83,4
Ponto 7	86,1	85,6	86,4	85,8	86,2
Ponto 8	84,2	83,6	85,0	83,6	84,6
Ponto 9	84,9	83,7	90,5	83,7	85,6
Ponto 10	84,5	83,9	90,5	84,0	84,5
Ponto 11	83,6	83,3	83,9	83,3	83,7
Ponto 12	80,3	79,9	81,2	79,9	80,8
Ponto 13	78,8	78,3	81,5	78,3	79,0

Figura 9: Média das medições nos pontos propostos



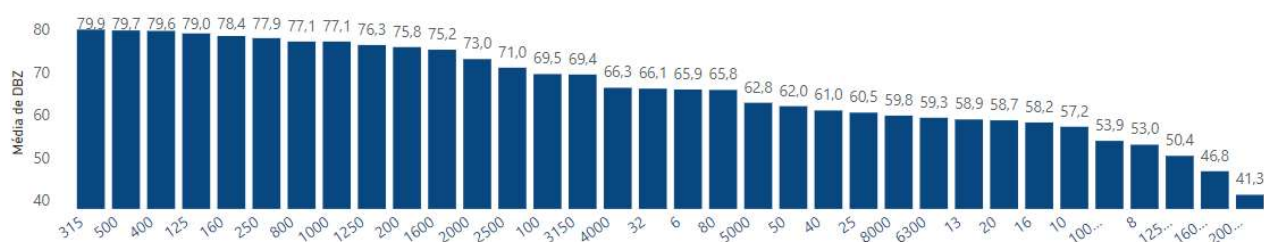
Fonte: dashboard do autor

Analisando o gráfico da Figura 9 e a disposição dos equipamentos conforme Figura 7. Os valores encontrados para as médias das medições se mostram coerentes; visto que durante as medições a endireitadeira E21 era a única operante e mais próximo dos pontos 7 e 9, assim

como um ventilador instalado na região e também o ruído proveniente do leito de resfriamento de laminados. Os valores variam em relação aos pontos, mas nota-se um nível alto de ruído de 86 dB(A) para o ponto mais ruidoso e quase 80 dB no ponto menos ruidoso. Vale a pena lembrar que por normas como NR15. De acordo com o exposto no Anexo A, o valor tolerável com o uso de EPI's para uma jornada padrão de 8 horas são 85 dB. Pode-se observar ainda que a amplitude das médias de pressão sonora varia, porém na maior parte dos pontos medidos o nível de pressão sonora foi acima da marca de 80 dB. As medições, conforme citado, não ocorreram em um dia em plena operação, sendo assim a tendência do ambiente é ser um pouco mais ruidosa nos pontos medidos.

Através de outra análise, pode-se observar na Figura 10, a distribuição da pressão sonora em relação a frequência de emissão do som no ponto 7 de medição. Pode-se perceber que as faixas de frequência que mais contribuem para o alto nível de ruído são as faixas de baixa frequência, que variam de 100Hz até um patamar de 1000Hz, informação importante para utilizar para propor contramedidas, visto que o material de atenuação absorve faixas de frequências definidas dependendo da densidade do material absorvente.

Figura 10: Média das medições para o ponto 7 em relação à frequência



Fonte: dashboard do autor

Para melhorar a condição de passagem de informação durante a reunião, foram propostas algumas melhorias, sendo elas: o enclausuramento de máquinas, fazendo com que as fontes sonoras sejam isoladas; Instalação de *baffles* na área para a absorção das ondas mecânicas; e por fim, a criação de uma sala acústica para realização das reuniões. Levando em consideração a facilidade e tempo de instalação, além de fatores econômicos optou-se por a criação de uma sala para a realização das reuniões, mostrada na Figura 11.

Figura 11: Foto ilustrativa da sala acústica para reunião



Fonte: Autor

A sala acústica foi projetada visando o conforto acústico e térmico. A base da estrutura é um *container* metálico, revestido com material externo com alto coeficiente de absorção (α) para a banda de frequência de 100Hz a 1000Hz com vidros duplos e vedação.

7. CONCLUSÃO

O presente estudo realizou o mapeamento do ruído no local onde ocorrem reuniões diárias de segurança e indicadores chaves do processo, através de ensaios de medição utilizando instrumentos de medição sonora e respeitando as normativas de metodologia de medição. As reclamações dos colaboradores em relação ao alto índice de pressão sonora existente no local durante as reuniões são justificadas.

Com medições realizadas em 13 pontos distintos próximos ao local de realização da reunião, constatou-se, mesmo em capacidade reduzida de operação, altos índices de pressão sonora. No ponto com maior índice de ruído mediu-se a marca de 85,8 dB(A) para o L_{A90} . Ou seja, 90% do tempo de medição o valor ficou acima desta marca. O alto índice de ruído é oriundo principalmente da colisão entre barras na utilização das endireitadeiras, além do ruído proveniente do mecanismo de soleira responsável por transportar as barras metálicas no leito de resfriamento e por fim picos de medições provenientes de sirenes de ponte rolante que atuam no local. Através da análise dos dados, foi possível obter e entender quais são os pontos mais críticos e conhecer o espectro de frequência que contribuem para o ruído. Através do estudo, obteve-se conhecimento de qual a banda de frequência que deve ser absorvida pelo material de revestimento da sala acústica afim de otimizar e alcançar o objetivo de obter uma reunião diária de forma clara.

Para próximos trabalhos, recomenda-se realização de novo estudo no novo local de reuniões a fim de comparação e atenuação do ruído. Sugerem-se medições novamente nos pontos medidos neste trabalho, além das medições dentro da cabine instalada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR. 10151 Versão corrigida:2020: **Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas- Aplicação de uso geral**. Rio de Janeiro, 2020.

BISTAFA, S. R.; **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 1ª ed. São Paulo: Blucher,2011.

BRÜEL & KJAER. **Environmental Noise booklet**. Naerum: Brüel & Kjør Sound & Vibration Measurement A/S 2000.

DA COSTA, E. C. **Acústica Técnica**. 1ª ed. São Paulo: Blucher,2003.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 2ª ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

MIGUEL, L. F. F. **Tópicos de Acústica Aplicada**. 1ª ed. Porto Alegre, 2007

MURGEL, E. **Fundamentos de Acústica Ambiental**. São Paulo: Senac, 2007

PATRÍCIO, J. **Acústica nos edifícios**. 6ª ed. Lisboa: Verlag Dashöfer, 2010

U.J. Kurze; G. S. Anderson, **Sound attenuation by barriers, Applied Acoustics**, vol.4, pp.35-53,(1971).

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines to Community Noise**, Geneva, 1999.

ANEXO A – NR 15 – ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES

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

Fonte: NR-15 ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES

1. Entende-se por Ruído Contínuo ou Intermitente, para os fins de aplicação de Limites de Tolerância, o ruído que não seja ruído de impacto.

2. Os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta (SLOW). As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador.

3. Os tempos de exposição aos níveis de ruído não devem exceder os limites de tolerância fixados no Quadro deste anexo.

4. Para os valores encontrados de nível de ruído intermediário será considerada a máxima exposição diária permissível relativa ao nível imediatamente mais elevado.

5. Não é permitida exposição a níveis de ruído acima de 115 dB(A) para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos.

6. Se durante a jornada de trabalho ocorrerem dois ou mais períodos de exposição a ruído de diferentes níveis, devem ser considerados os seus efeitos combinados, de forma que, se a soma das seguintes frações:

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

exceder a unidade, a exposição estará acima do limite de tolerância. Na equação acima, C_n indica o tempo total que o trabalhador fica exposto a um nível de ruído específico, e T_n indica a máxima exposição diária permissível a este nível, segundo o Quadro deste Anexo.

7. As atividades ou operações que exponham os trabalhadores a níveis de ruído, contínuo ou intermitente, superiores a 115 dB(A), sem proteção adequada, oferecerão risco grave e iminente.