



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Dosimetria de ruído aplicada na avaliação de riscos ocupacionais em laboratórios de metrologia científica

Amaral, M. A.¹; Damasceno, M. N. L.²

¹ Laboratório de Ensaios Acústicos, Inmetro, Duque de Caxias, RJ, Brasil, maamaral@inmetro.gov.br

² Serviço de Saúde e Segurança Ocupacional, Inmetro, Duque de Caxias, RJ, Brasil

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o resultado da avaliação de níveis de pressão sonora a que estão submetidos trabalhadores de uma instituição de pesquisa científica. O método de estudo científico aplicado é o estudo de casos. O estudo faz parte de um mapeamento completo de riscos ocupacionais. No mapeamento inicial, foram identificados 16 grupos de riscos. Para a priorização desses grupos de risco, visando a otimização de recursos, foi aplicada a Matriz de Relevância combinada com o Diagrama de Pareto, o que permitiu a hierarquização desses agentes de riscos ocupacionais, considerando o grau de risco. O agente de risco ruído ocupacional, ruído contínuo ocupou a 3ª posição, com cerca de 15% de relevância na parcela de 80% de atribuição do diagrama. A metodologia de mensuração dos níveis de pressão sonora utilizou os critérios de parametrização e avaliação contidos no anexo 1 da NR15, [1]. O procedimento técnico de dosimetria e identificação dos Grupos Homogêneos de Exposição – GHE foi orientado pela NHO 1, [2]. A determinação da dose de exposição ao ruído foi obtida pela utilização de medidor integrador de uso pessoal. O resultado da dosimetria realizada identificou diversos locais com níveis de pressão sonora que ultrapassaram os limites de tolerância previstos na legislação aplicável.

Palavras-chave: ruído ocupacional, perda auditiva, protetor auditivo, acústica.

PACS: 43.50.-x; 43.50. Hg; 43.66.Vt; 43.50.Qp; 43.50.Rq

Abstract

The present work aims to present the result of the evaluation of sound pressure levels to which workers from a scientific research institution are submitted. The scientific study method applied is the case study. The study is part of a complete mapping of occupational hazards. In the initial mapping, 16 risk groups were identified. For the prioritization of these risk groups, aiming at the optimization of resources, the Relevance Matrix combined with the Pareto Diagram was applied, which allowed the hierarchization of these occupational risk agents, considering the degree of risk. The occupational noise risk agent, continuous noise occupied the 3rd position, with about 15% of relevance in the 80% portion of the diagram attribution. The methodology for measuring sound pressure levels used the parameterization and evaluation criteria contained in annex 1 of NR15, [1]. The technical procedure for dosimetry and identification of Homogeneous Exposure Groups – HEG was guided by NHO 1, [2]. The determination of the noise exposure dose was obtained using an integrator meter for personal use. The result of the performed dosimetry identified several places with sound pressure levels that exceeded the tolerance limits provided for in the applicable legislation.

Keywords: occupational noise, hearing loss, hearing protector, acoustics.

PACS: 43.50.-x; 43.50. Hg; 43.66.Vt; 43.50.Qp; 43.50.Rq



1. INTRODUÇÃO

O ruído é um problema de saúde pública e pode causar uma série de agravos à saúde. A exposição a níveis elevados de ruído pode induzir a deficiência auditiva, doenças cardiovasculares, hipertensão, distúrbios do sono, problemas psicológicos, sociais e comportamentais. A *World Health Organization* (WHO) informa que 466 milhões de pessoas em todo o mundo têm perda auditiva incapacitante e 34 milhões delas são crianças [3]. A perda auditiva ocupacional é a doença relacionada ao trabalho mais comum nos Estados Unidos; o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), estima que aproximadamente 22 milhões de trabalhadores dos EUA estejam expostos a ruídos perigosos [4]. Ainda de acordo com WHO [3] até 2050 o número de pessoas impactadas por perda auditiva deve chegar a 1 bilhão em todo o mundo.

No Brasil existem cerca de 10,7 milhões de pessoas com deficiência auditiva. Deste total, cerca de 21,5% possuem surdez severa. Do total de atingidos 9% das pessoas com deficiência auditiva nasceram com essa condição e 91% adquiriram ao longo da vida [5]. Dados da Semana da Acessibilidade Surda revela a existência, no Brasil, de 10,7 milhões de pessoas com deficiência auditiva [6]. Desse total, 2,3 milhões têm deficiência severa. A surdez atinge 54% de homens e 46% de mulheres. A predominância é na faixa de 60 anos de idade ou mais (57%) [7].

2. O CONTROLE DO RUÍDO

Em primeiro lugar, é importante compreender a diferença entre som e ruído. Som é a sensação produzida no sistema auditivo; e ruído é um som indesejável, em geral de conotação negativa [8]. Neste sentido, fazer a distinção entre um efeito sonoro que pode ser agradável ao ouvido e quantificar um outro efeito sonoro que pode ter consequências deletérias ao organismo humano é de vital importância.

2.1 Critérios para controle do ruído

O monitoramento do ruído no ambiente de trabalho e suas consequentes propostas de medidas de controle estão previstas em normas internacionais, como por exemplo a recente tradução da Norma internacional ISO 11690-1, para ABNT ISO NBR, [9]. Neste sentido, para a tomada de decisão quanto aos níveis de impacto no organismo humano, faz-se necessário a observância dos chamados Limites de Exposição Ocupacional, do inglês *Threshold Limit Values (TLVs)*, que informam os limiares a que possam ser submetidos os trabalhadores sem que haja risco de comprometimento da sua saúde [10]. No âmbito nacional, este referencial técnico, contido nos TLVs, é publicado e atualizado periodicamente pela ABHO [11].

Entretanto, no Brasil, a referência ocupacional legal para os chamados Limites de Tolerância (LT) e Níveis de Ação (NA) é determinada pela legislação trabalhista, conforme contido na NR15 [1]. Para o ruído ocupacional, o LT e o NA são parametrizados no Anexo 1 do citado documento legal.

2.1.1 Ações de prevenção

De acordo com a NR 9 [12], no tocante a avaliação dos agentes físicos, foram introduzidas alterações, em 2022. Assim, enquanto não forem estabelecidos os anexos a esta Norma, devem ser adotados para fins de medidas de prevenção:

- critérios e limites de tolerância constantes na NR-15 e seus anexos;
- como nível de ação para o agente físico ruído, a metade da dose;
- Na ausência de limites de tolerância previstos na NR-15 e seus anexos, devem ser utilizados como referência para a adoção de medidas de prevenção aqueles previstos pela ACGIH [10];

Considera-se nível de ação (N.A.), o valor acima do qual devem ser implementadas ações de controle sistemático de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições ocupacionais ultrapassem os limites de exposição [12].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada no presente trabalho é o estudo de casos, a partir de diversos resultados de dosimetria localizada de ruído. Para a definição do grau de risco foi aplicada a matriz de relevância (MR). Foram analisados os resultados de uma avaliação quantitativa de ruído ocupacional realizada conforme parâmetros da NR15 [1], sendo o método de análise dos riscos baseados na NR09 [12].

3.1 Análise estatística dos riscos ocupacionais

Os dados de entrada da análise estatística foram provenientes de relatórios preliminares de identificação de riscos ocupacionais realizados na instituição. Os relatórios cobriram os tipos de agentes de risco: físico, químico, biológico, de acidentes com eletricidade e de explosão devido a inflamáveis. A utilização do Diagrama de Pareto [13] foi aplicada com vistas a apresentar a hierarquização dos riscos, considerando o fator de risco combinado. O diagrama de Pareto permitiu definir que o agente de risco ruído ocupa a terceira posição, em uma escala decrescente de graus de risco.

3.1.1 Cálculo do nível de relevância de riscos

De acordo com [14], a Matriz de Relevância tem a finalidade de hierarquizar os riscos de acordo com o nível de criticidade dos setores de uma organização.

A frequência da exposição a um risco é determinada por fH_j , Equação (1), considerando a contribuição de todos os setores.

A frequência de exposição é determinada por fSi , Equação (2), considerando a contribuição de todos os agentes em um determinado setor.

N é o número de trabalhadores de cada setor. Deve-se então calcular a frequência de exposição dos trabalhadores a um determinado risco e a frequência de exposição de todos os trabalhadores de um determinado setor considerando a contribuição de todos os agentes de risco.

$$f_{Hj} = \sum_{i=1}^{i=y} M_{i,1} * N_{i,j}, \text{ for } 2 \leq j \leq x$$

Equação 1

$$f_{Si} = \sum_{j=2}^{j=x} M_{i,1} * N_{i,j}, \text{ for } 1 \leq i \leq y$$

Equação 2

Onde: fH_j = Somatório dos fatores para cada risco, considerando a contribuição de cada setor; fSi = Somatório dos fatores associados a cada setor, considerando a contribuição de cada risco. A Matriz de Risco é construída a partir de uma matriz (i X j), onde as colunas representam os perigos e as linhas os setores da empresa em questão. A priorização dos riscos se baseia na quantificação do risco através da multiplicação da probabilidade da ocorrência de um evento relacionado e a severidade das consequências, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Matriz de Relevância (MR)
Modelo Geral de Construção, [14].

Sector	Fator	Ha	Hb	...	Hx	FS
S1	M (1.1)	N (1.2)	N (1.3)	...	N (1.x)	FS1
S2	M (2.1)	N (2.2)	N (2.3)	...	N (2.x)	FS2
S3	M (3.1)	N (3.2)	N (3.3)	...	N (3.x)	FS3
:	:	:	:	:	:	:
Sy	My.1			...	Ny.x	FSy
FH		FH1		...	FHx	ΣFH = ΣFS

3.2 Procedimentos de avaliação

A Norma Técnica NHO tem por objetivo estabelecer critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional ao ruído, que implique risco de surdez ocupacional [2]. Este procedimento técnico é aplicado à exposição ocupacional a ruído contínuo e a ruído de impacto em quaisquer situações de trabalho, contudo não está voltada para a caracterização das condições de conforto acústico [2].

Com relação a conforto acústico a NR17 [15] estabelece que o ruído de fundo para o conforto deve respeitar os valores de referência para ambientes internos de acordo com sua finalidade de uso estabelecidos em normas



técnicas oficiais. Para os demais casos, o nível de ruído de fundo aceitável para efeito de conforto acústico será de até 65 dB (A), nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado em A e no circuito de resposta *Slow* (S).

3.3 Critérios de avaliação da exposição ocupacional ao ruído

Conforme descrito no item 3.3.2 a dosimetria de ruído ocupacional foi realizada por meio da utilização de instrumento denominado medidor integrador de uso pessoal (dosímetro de ruído), ajustados (*setup*) de acordo com as orientações técnicas contidas em [2], no item 6.2.1.1 deste procedimento técnico editado pela Fundacentro. Todos os parâmetros e critérios de modelagem da integração estão descritos nas subseções seguintes. Os níveis de tolerância (LT), para 8 horas diárias, e o fator de dobra ($q=5$) foram adotados com base na referência legal [1].

3.3.1 Ruído contínuo ou intermitente

De acordo com [2] o critério de referência que embasa os limites de exposição adotados para ruído contínuo ou intermitente corresponde a uma dose de 100% para exposição de 8 horas ao nível de 85 dB (A). A NHO 01 [2] estabelece o incremento de duplicação de dose (q) igual a 3 e o nível limiar de integração igual a 80 dB (A). Entretanto, os valores adotados neste trabalho foram os valores que estão definidos na legislação trabalhista NR15 [1], sendo $q=5$ e limite inferior de integração igual a 80 dB(A), sendo o limite superior de integração de 115 dB(A).

3.3.2 Avaliação com medidor integrador de uso pessoal

A determinação da dose de exposição ao ruído deve ser realizada, preferencialmente, por meio de uso de medidores integradores de uso pessoal (dosímetros de ruído), ajustados de forma a atender as especificações contidas no item 6.2.1.1 (equipamentos de medição) [2]. O limite de exposição ocupacional para ruído contínuo ou intermitente corresponde a dose diária de 100%. O nível de ação para exposição ocupacional ao ruído é de dose diária igual a 50%. O limite de exposição valor teto para ruído contínuo ou intermitente é 115 dB (A).

4. REVISÃO DA LITERATURA

A presente revisão da literatura visa apresentar o objeto do estudo e os parâmetros para comparação para possíveis medidas de controle do ruído ocupacional.

4.1 Exposição humana ao ruído

O ruído incomoda as pessoas individualmente ao interferir na concentração, na conversação, no lazer, no sono e nas demais atividades do cotidiano. É possível, no entanto, caracterizar os efeitos do ruído num agregado de pessoas em comunidades sujeitas a vários tipos de ruídos ambientais. Estudos demonstram uma significativa correlação entre a interferência em comunidades e os níveis de ruído [16].

Poluição sonora pode ser definida como qualquer perturbação do meio ambiente causada por sons gerados direta ou indiretamente por ação humana que dificultem ou impossibilitem a utilização de um determinado espaço ambiental para as suas finalidades ou, ainda, que possam causar dano auditivo para os frequentadores ou ocupantes daquele espaço [16]. O risco de perda auditiva induzida por ruído (PAIR), adquirida no ambiente ocupacional, é considerado mais elevado para quem atua em indústrias; medidas de prevenção ajudam a evitar o problema [7].

4.2 A orelha humana

A figura 1 a seguir representa de forma esquemática o aparelho auditivo humano.

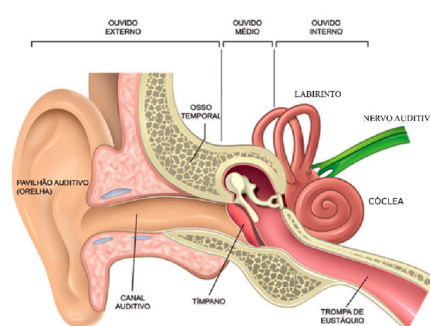


Figura 1: Desenho esquemático da orelha humana, [17].

A proteção auditiva proposta para controle de ruídos por meio de equipamentos de proteção

individual (EPI) pode abranger o uso de protetores auditivos de inserção no canal auditivo, ou pelo uso e protetores auditivos, tipo concha sobrepostos ao pavilhão auditivo (orelha externa). Ver figura 1.

4.3 Conceitos fundamentais

O risco de danos à audição devido a um determinado tipo de ruído depende não somente de seu nível, mas também de sua duração no tempo. Normalmente, os níveis de ruído podem variar durante um determinado intervalo de tempo. O nível sonoro equivalente é um nível constante que equivale, em termos de energia acústica, aos níveis variáveis do ruído, durante o período de medição. Assim, é definido um valor único, chamado nível equivalente de pressão sonora, L_{eq} , que é o nível sonoro médio, resultante da integração ao longo de um intervalo de tempo [9].

O Nível de Pressão Sonora Equivalente é definido matematicamente conforme a equação (3):

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_T \frac{P_A^2}{P_0^2} dt \right) dB(A)$$

Equação 3

Onde:

L_{eq} : nível de pressão sonora equivalente referente ao intervalo de integração ($T=t_2 - t_1$)

T: intervalo de tempo de medição;

P_A : pressão sonora instantânea com ponderação A;

P_0 : pressão sonora de referência, igual a 20 μPa

4.4 Proteção auditiva

De acordo com [12] para avaliação das Exposições Ocupacionais aos Agentes Físicos, Químicos e Biológicos deve ser realizada a análise preliminar das atividades de trabalho e dos dados já disponíveis relativos aos agentes físicos, químicos e biológicos, a fim de determinar a necessidade de adoção direta de medidas de prevenção ou de realização de avaliações qualitativas ou, quando aplicáveis, de avaliações quantitativas.

A avaliação quantitativa das exposições ocupacionais aos agentes físicos, químicos e biológicos, quando necessária, deverá ser realizada para:

- comprovar o controle da exposição ocupacional aos agentes identificados;
- dimensionar a exposição ocupacional dos grupos de trabalhadores;
- subsidiar o equacionamento das medidas de prevenção.

Ainda de acordo [12] a avaliação quantitativa deve ser representativa da exposição ocupacional, abrangendo aspectos organizacionais e condições ambientais que envolvam o trabalhador no exercício das suas atividades laborais.

4.4.1 Medidas de prevenção e controle

As medidas de controle para a eliminação ou mitigação dos riscos devido aos agentes físicos, químicos, biológicos ou de ergonomia devem obedecer a uma sequência de barreiras, que vão da fonte até o trabalhador [12].

- A figura 2 a seguir apresenta a trajetória do agente de risco, no caso a pressão sonora, da fonte em direção ao trabalhador, passando pelo meio de propagação, barreiras a serem fornecidas por medidas administrativas, até chegar no trabalhador. Foi utilizada como exemplo a fonte sonora de referência ((FSR).



Figura 2: Ilustrativa do fluxo do ruído da fonte em direção ao trabalhador.

4.5 Aplicação do controle de ruídos

A aplicação de medidas de engenharia, como mudanças na fonte, enclausuramento, absorção sonora, isolamento acústico, entre outras, que dependem de projeto, pode ser demorada e



custosa. Neste caso, para a continuidade das atividades com níveis de pressão sonora elevados até a aplicação definitiva de medidas de engenharia, pode ser necessário a especificação de EPI para proteção do aparelho auditivo e preservação da audição [18]. Em certos casos, a depender dos níveis de pressão sonora, pode ser necessária a aplicação conjugada de EPI e de medidas administrativas.

4.6 Atenuação sonora por protetores auditivos

Protetores auditivos estão divididos em várias categorias citadas na ABNT NBR 16.076 [19]. Entretanto, as duas principais categorias, mais utilizadas são: de inserção interna, na orelha média (tipo *plug*) e de acoplamento externo à orelha externa (tipo concha) [19]. É certo que para cada categoria de *plug* ou concha existem uma infinidade de modelos, cada um com seu nível de atenuação sonora característico, cabendo ao profissional de segurança ocupacional escolher em função da adequação a níveis de exposição.

4.6.1 O método longo - NRR

A informação que deverá ser levada em conta para assegurar a proteção adequada é a metodologia apresentada no “Anexo A, Exemplos de cálculo do nível de exposição com proteção”, pelo método longo definida em [20], que apresenta o método longo, contido neste Anexo A, com a *NRR - Noise Reduction Rating* (Nível de Redução de Ruído). As metodologias de atenuação levam em conta índices que podem ser subtraídos diretamente do nível de exposição do trabalho, sendo que segundo os anexos 1 e 2 da NR 15, o valor para ruído contínuo deve ser considerado em dB (A) [20].

4.6.2 O método simplificado - NRRsf

O método $NRR_{sf} = \text{Noise Reduction Rate Subject Fit}$ (Nível de Redução do Ruído, significa que a colocação do protetor na orelha é de forma subjetiva, e surge como um dos índices a ser utilizado. Ao contrário do NRR, o NRR_{sf} é obtido não em ambiente laboratorial, mas, em ambiente próximo da realidade, de maneira que cada usuário fica livre para instalar o seu EPI sem orientação [20]. Atualmente, os

protetores auditivos trazem como informação principal o NRR_{sf} . Entretanto, no C.A. é possível obter a curva de atenuação, o que permite traçar o perfil de atenuação, conforme a figura 4.

$$NE_p = NE - NRR_{sf} \quad \text{Equação 4}$$

4.7 Aplicação do Anexo 1 da NR15

O decibel obedece a uma escala logarítmica e não aritmética como costumamos encontrar no nosso dia a dia. Isso fica demonstrado no anexo 1 da NR 15 do Ministério do Trabalho que nos mostra um fato notável, a cada 5 dB (A) a exposição dobra ou diminui pela metade.

Tabela 2: Limites de Tolerância (LT) para ruído contínuo ou intermitente, [1].

Nível de Ruído dB(A)	Máxima exposição diária permíssível
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

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliados, inicialmente, 64 locais com 16 diferentes grupos de agentes de riscos identificados, sendo aplicada a matriz de riscos. O Diagrama de Pareto apresenta a capacidade de separar “os poucos vitais” dos “muito triviais

[13]. A figura 3 a seguir evidencia os resultados para a frequência de exposição (FH%).

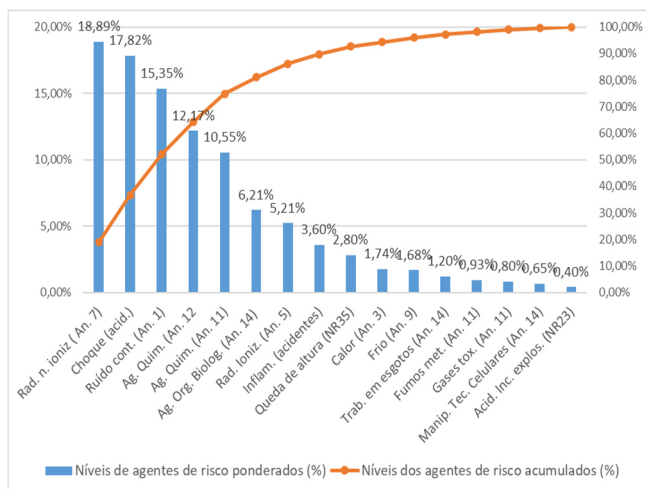


Figura 3: Gráfico com os resultados da aplicação do “diagrama de Pareto” para níveis de risco (%).

A utilização do diagrama permite hierarquizar os agentes de risco quanto ao seu nível de impacto ocupacional. O agente físico ruído contínuo, avaliado em 5.1 e 5.2, ficou na 3ª posição de risco, com FH = 15,75%. A tabela 3 a seguir detalha o fluxo de propagação do ruído, apresentado na figura 2. O fluxo mostra o caminho da fonte até o trabalhador, os tipos de controle, as proposições de medidas de controle e as respectivas barreiras.

Tabela 3: Trajetória do ruído e proposição de barreiras.

Trajetoária da propagação do ruído	Tipo de controle	Tipos de medidas	Ações de barreiras
Fonte do risco	Contenção na fonte	Engenharia	Mudanças na fonte, enclausuramento,
Meio de propagação	Projetos de acústica	Engenharia	Absorção sonora, isolamento acústico
Medida administrativa	Avaliação dos níveis de exposição	Administrativas	Revezamento, redução de tempo de exposição, etc
Trabalhador		Ações no trabalhador	Uso de EPI, treinamentos,

De acordo com [12] as medidas de controle devem ser aplicadas por interposição de “barreiras”, que vão da fonte em direção ao trabalhador. Neste sentido, os tipos de medidas indicadas prioritariamente são as medidas de engenharia, que atuam na fonte e no meio de propagação. As medidas administrativas e com

foco no trabalhador dependem de fatores, como obediência às regras de redução de tempo e de adesão ao uso de EPI.

5.1 Distribuição do NPS por banda estreita

Nesta seção são comparados os níveis de pressão sonora (NPS) medidos diretamente pela emissão da fonte em campo difuso [21] e os valores obtidos na dosimetria (5.2). A figura 4 a seguir apresenta os resultados obtidos para o NPS da fonte sonora de referência (FSR), em terça de oitava de frequência, obtidos em uma calibração de rotina em laboratório [22]. Cabe ressaltar, que este experimento foi de curta duração e não tem representatividade ocupacional, servindo apenas para exemplificar a distribuição do NPS por banda estreita.

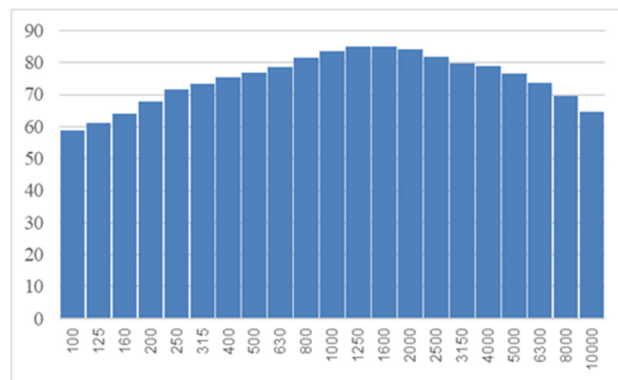


Figura 4: Gráfico do Lp para o NPS da fonte sonora de referência (FSR), em banda estreita, em dB(A) e frequência em (Hz).

5.2 Realização da dosimetria por Leq dB(A)

Nesta seção são apresentados os parâmetros de execução da medição de dosimetria ocupacional de ruído, conforme descrito na secção 3, considerando o referencial teórico apresentado na secção 4 Revisão da Literatura.

Na extração dos dados, após a conclusão de cada dosimetria, foi selecionada a opção: “importar dados conforme a NR15”. A figura 5 mostra o Protetor auditivo tipo *plug* de copolímero laranja e C.A. 9584, escolhido como medida provisória de controle de ruído, enquanto outras medidas mais eficazes são implantadas.



Figura 5: Protetor auditivo *plug* em copolímero laranja cordão de PVC C.A. 9584, [18]

A figura 6, em sequência, foi montada a partir dos dados da medição dos níveis de pressão sonora (L_p) da fonte sonora de referência (FSR) medida em laboratório, em campo difuso (linha em azul), considerando a escala de 3ª de oitava de frequências em Hz. As demais curvas são representativas de: vermelho claro pontilhado N. E. (atenuado), laranja contínuo L.T. e cinza contínuo N.A. A curva de atenuação calculada conforme o método longo previsto em [20] considera os sete pontos de frequência: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz, previstos na referência normativa.

A tabela 4 foi extraída do C.A. 9584 do protetor auditivo, *plug* de inserção [18].

As tabelas 5 e 6 logo a seguir apresentam os resultados decorrentes da aplicação da metodologia de medição de dosimetria utilizada, considerando as fontes de 1 a 12. As medições 10, 11 e 12 foram realizadas em campo, acompanhando os serviços realizados externamente.

Tabela 4: Tabela de atenuação de protetor auditivo, *plug* de inserção - C.A 9584, [18].

Frq. (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRRsf
Atenuação (dB)	21	22	23	21	26	31	36	16
DVPAD (dB)	7	7	7	5	5	6	5	-

A tabela 4 foi elaborada a partir do Certificado de Aprovação (C.A) 9784 do *plug* de inserção [18]. Os valores de atenuação desta tabela foram utilizados como dados de entrada para a construção do gráfico, elaborado no Excel®, conforme apresentado na figura 6, em sequência.

Tabela 5: Resultados do Leq, em dB (A), da dosimetria realizada.

Medição	Local/ Laboratório	Fonte	Leq dB(A)
1	Carpintaria	Serra circular, furadeira axial, serra de fita	95,00
2	Serralheria	Policorte, esmerilhadeiras,	92,10
3	Ensaio Acústicos	Fonte Sonora de Referência ³	90,50
4	Eletroacústica ¹	Amplificador de Potência ⁴	86,10
5	Ensaio Acústicos ²	Dodecaedro ⁵	106,9
6	Vibrações	Local próx. a fonte de ruído	77,50
7	Higrometria	Bomba de compressão	64,00
8	Mecânica	Máquina de taragem	82,90
9	Of. de Precisão	Esmerilhadeira, policorte	94,10
10	Posto de Ensaio	Motor /banco de rolos	82,60
11	Posto de Ensaio	Motor /banco de rolos	77,60
12	Caminhão-tanque	Ambiente industrial	83,00

Notas: 1. Calibração de pelo método da comparação em Campo de Pressão; 2. Caracterização de Medidores de Nível Sonoro em campo livre; 3. Fonte Sonora de Referência (FSR); 4. Amplificador de potência B&K 2706, caixa acústica coaxial; 5. Fabricação própria

A tabela 6 teve a atenuação calculada com base na aplicação do NRRsf (dB).

Tabela 6: Nível de Pressão Sonora (NPS) Leq e N.E. atenuado para NRRsf e a restrição de tempo de exposição.

Medição	Fonte	LEq dB(A)	NRRsf (dB)	NE - Nível atenuado dB(A)	Exposição máxima permitida, anexo 1 da NR15
1	Fonte 1	95,00	16,00	79,00	2 horas
2	Fonte 2	92,10	16,00	76,10	2 horas e 40 minutos
3	Fonte 3	90,50	16,00	74,50	3 horas e 30 minutos
4	Fonte 4	86,10	16,00	70,10	6 horas
5	Fonte 5	106,90	16,00	90,90	25 minutos
6	Fonte 6	77,50	16,00	61,50	Abaixo do N. A.
7	Fonte 7	64,00	16,00	48,00	Abaixo do N. A.
8	Fonte 8	82,90	16,00	66,90	Acima do N. A., e abaixo do L.T.
9	Fonte 9	94,10	16,00	78,10	2 horas
10	Fonte 10	82,60	16,00	66,60	Acima do N. A., e abaixo do L.T.
11	Fonte 11	77,60	16,00	61,60	Abaixo do N. A.
12	Fonte 12	83,00	16,00	67,00	Acima do N. A., e abaixo do L.T.

Nota: Exposição máxima, por precaução, com base no Leq.

As curvas representadas na figura 6 foram plotadas em planilha no Excel®, após serem transladas para a curva dB(A). O N.Ep foi

calculado pela aplicação do método longo e também pelo método da aplicação do NRRsf, previstos na ABNT NBR 16.077 [20].

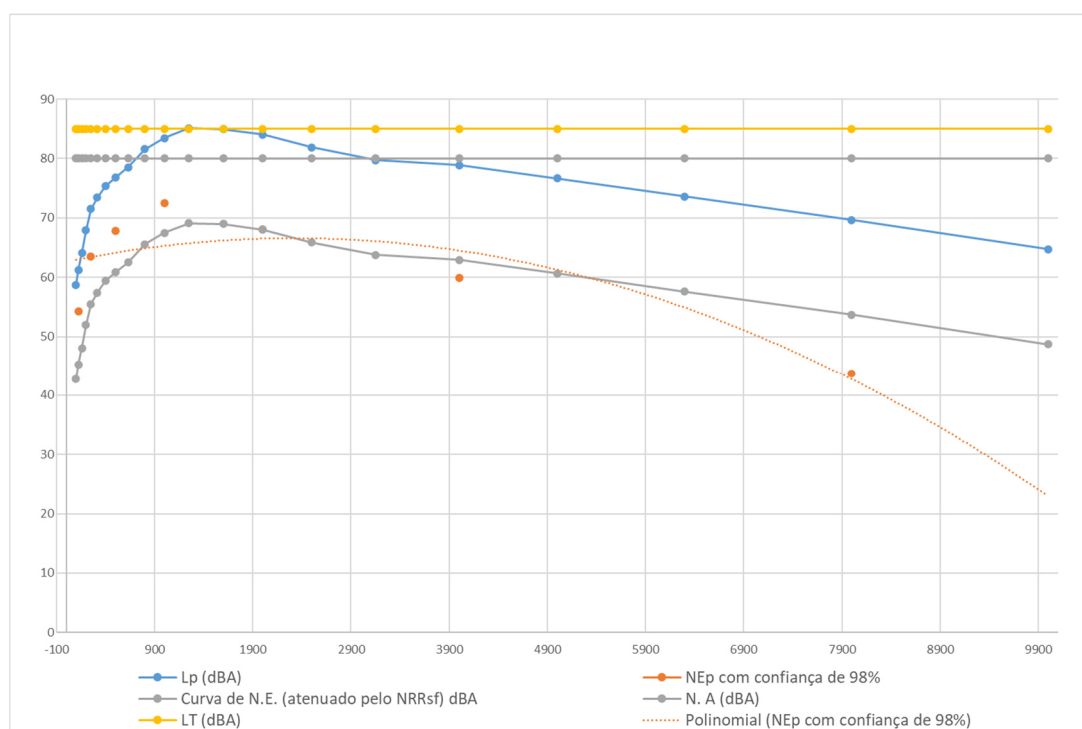


Figura 6: Perfil de atenuação do protetor auditivo C.A 9584 no Excel®, contendo a curva de Lp, N.E, LT e NA, [18].

Legenda:

- Lp (pressão sonora medida em campo difuso) dB(A);
- Curva de N.E. (atenuado pelo NRRsf) dB(A);
- L. T. – Limite de Tolerância dB(A);
 - N.Ep. – Nível de Exposição atenuado pelo protetor auditivo C.A 9584, confiança 98%
 - N. A. – Nível de Ação dB(A);

6. COMENTÁRIOS AOS RESULTADOS

Da análise da figura 6 é possível verificar, que no intervalo de frequências de 630 a 3150 Hz o NPS ultrapassa o limite de tolerância (L.T.), de 80 dB(A), sendo a exposição nessas frequências sem a proteção adequada, considerada crítica, pois está bem próxima do limite de tolerância (L.T.). A utilização correta do protetor auditivo C.A. 9584, permite que o trabalhador possa atuar no local da fonte devidamente protegido contra danos auditivos. Entretanto, é importante observar os limites de máxima permanência diária da tabela 2. Conforme pode ser demonstrado pela curva de atenuação N.E. em dB (A). Nas frequências mais baixas, 125, 250, 500, 1000, e 2000 Hz a atenuação é menor e nas

frequências mais altas de 4.000 a 8.000 Hz a atenuação melhora bastante. O Lp global em dB (A) calculado pela equação (3) foi de 92,7 dB (A), caso fosse atenuado pelo NRRsf de 16 dB, dado fornecido pelo C.A. 9584, resultaria em N.E (NRRsf) de 76,7 dB (A).

O valor eficaz da pressão sonora da banda larga (p) pode ser obtido a partir dos valores eficazes das pressões sonoras das bandas estreitas (pi) contidas na banda larga, podendo o nível de pressão sonora da banda larga (Lp) ser obtido por meio da equação (5) [8]:

$$L_p = 10 \log \left[\sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{pi}}{10}} \right] \quad \text{Equação 5}$$

Com a aplicação da equação (5) para os valores de banda estreita de Lpi, encontramos $L_p = 92,7$ dB (A) valor superior ao limite de tolerância de 85,0 dB (A) prescrito em [1].

Fontes sonoras de referência (FSR) podem ser calibradas em câmaras semi-anecóicas ou em câmaras reverberantes, conforme indicado na norma ISO 6926:2016 [21]. O item 5.1 utiliza os valores de NPS para Lpi, em dB(A) e frequência em Hz, segundo método de calibração em câmaras reverberante, descrito na norma ISO 3741:2010 [22].

7. CONCLUSÃO

A aplicação da metodologia proposta assegurou a avaliação de 16 tipos de agentes de riscos diferentes na instituição. Foram contabilizados todos os agentes de risco, o que permitiu categorizar esses agentes de risco, de modo a criar uma lista de prioridades para tratamento. O agente de risco ruído contínuo e intermitente foi classificado na terceira posição com FH = 15,75%. Após a verificação pontual, foram identificados 12 locais de trabalho, que contém esse tipo de agente de risco, com fontes com possibilidade de ultrapassar o Nível de Ação durante as atividades. Isto permitiu realizar a etapa de dosimetria por uso de integrador pessoal, que avaliou o L_{eq} presente nas atividades ocupacionais em estudo. Para que fosse possível a permanência de trabalhadores nos locais com NPS elevado, até que novas medidas de engenharia possam ser aplicadas, foi especificado o uso de EPI, protetor auditivo tipo *plug* com NRRsf de 16 dB. A aplicação deste EPI pode atenuar o nível de pressão sonora nas orelhas internas dos trabalhadores para valores inferiores a 80 dB(A), nas bandas de 1/3 de oitava. Entretanto, para a fonte sonora de referência (FSR) e.g. o valor eficaz da pressão sonora calculado no item 5.1 dosimetria é igual a 92,7 dB (A), o que enseja cuidados especiais, como previsto na legislação, como por exemplo o estabelecimento de máxima exposição diária permissível, conforme o anexo 1 da NR15.

A fonte de ruído o Dodecaedro de fabricação própria, também não pode ter o NPS atenuado a níveis considerados permissíveis, ficando o seu NPS, calculado, em 90,90 dB(A) para uma jornada de 8 horas. Dessa forma, foi aplicada a condição indicada no Anexo da NR15, que prevê o tempo permissível máximo reduzido, considerado como referência o intervalo superior de 91,00 dB(A).

8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Serviço de Segurança e Saúde Ocupacional do Inmetro pela cessão dos dados referentes à dosimetria de ruído realizada, a Eng^a de Segurança do Trabalho Márcia Nelma L. Damasceno que forneceu todas as informações necessárias, participou de

discussões, ajudando a reconstituir o processo de avaliação.

REFERÊNCIAS

- [1] NR15 – Norma Regulamentadora nº 15. **Atividades e operações insalubres**. Ministério da Economia. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 e alterações subsequentes.
- [2] NHO 01 - **Norma de higiene ocupacional: procedimento técnico: avaliação da exposição ocupacional ao ruído**. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/centrais-de-conteudo/biblioteca/nhos>, acesso em: 16/05/2022.
- [3] WHO - **World Health Organization**. Disponível em: <https://www.who.int/>, acesso em: 16/05/2022.
- [4] NIOSH - **National Institute for Occupational Safety and Health**. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/index.htm>, acesso em: 16/05/2022.
- [5] AgB - **Agência Brasil**. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/>, acesso em: 16/05/2022.
- [6] **Instituto Locomotiva**. Disponível em: <https://ilocomotiva.com.br/clipping/agencia-brasil-pais-tem-107-milhoes-de-pessoas-com-deficiencia-auditiva-diz-estudo/>, acesso em: 16/05/2022.
- [7] CESTEH – **Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana**. Disponível em: <http://www.cesteh.ensp.fiocruz.br/>, acesso em: 16/05/2022.
- [8] BISTAFA, S. R., 2011, **Acústica aplicada ao controle do ruído** - 2ª ed., 2011.
- [9] ABNT NBR ISO 11690-1:2022 - **Acústica - Prática recomendada para o projeto de ambientes de trabalho de baixo ruído contendo maquinário. Parte 1: Estratégias de controle de ruído**. Publicada pela ABNT em 12/05/2022.
- [10] ACGIH – **American Conference of Governmental Industrial Hygienists**. Disponível em: <https://www.acgih.org/>, acesso em: 16/05/2022.
- [11] ABHO – **Associação Brasileira de Higienistas**. Disponível em: <https://www.abho.org.br/>, acesso em: 16/05/2022.
- [12] NR09 – **Norma Regulamentadora nº 9. PPRA – Prevenção de Riscos Ambientais**. Ministério da Economia. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 e alterações subsequentes.
- [13] LEVINE, D. M.; STEPHAN, D. F.; KREHBIEL, T. C.; BERENSON, M.L. **Estatística teoria e aplicações**, 5ª ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2008.
- [14] HADDAD, A. N., MORGADO, C.V., DESOUZA, D. I. **Health, safety and environmental management risk evaluation strategy: hazard matrix application case studies**. IEEM, 2008.



- [15] NR17 – **Norma Regulamentadora nº 17.** Ergonomia. Ministério da Economia. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 e alterações subsequentes.
- [16] LESSA, B. P. V. Dissertação de Mestrado. **Avaliação de poluição sonora em assentamento informal - Estudo de caso - comunidade Santa Marta-RJ.** COPPE-UFRJ, 2012. Disponível em: <https://pdfhoney.com/compress-pdf.html>, acessado: 12/06/2022.
- [17] Researchgate. **Discover scientific knowledge and stay connected to the world of science.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/>, acesso em: 16/05/2022.
- [18] **Certificado de Aprovação de EPI, protetor auditivo C.A. 9584.** Disponível em: <https://consultaca.com/9584>, acesso em: 06/06/2022.
- [19] ABNT NBR 16.076 - **Equipamento de proteção individual - Protetores auditivos - Medição de atenuação de ruído com métodos de orelha real.**
- [20] ABNT NBR 16.077 - **Equipamento de proteção individual - Protetores auditivos - Método de cálculo do nível de pressão sonora na orelha protegida.**
- [21] ISO 6926:2016. **Acoustics – Requirements for the performance and calibration of reference sound sources used for the determination of sound power levels.**
- [22] ISO 3741:2010. **Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Precision methods for reverberation tests rooms.**