

RUÍDO OCUPACIONAL: ANÁLISE ESPECTRAL E COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ATENUAÇÃO DE PROTETORES AUDITIVOS EM DIFERENTES RAMOS INDUSTRIAIS

Mônica Bez Pinter¹

RESUMO:

O ruído ocupacional em níveis elevados é um dos principais agentes nocivos nos ambientes industriais, sendo responsável por danos auditivos irreversíveis. Este estudo teve como objetivo realizar a análise espectral de níveis de ruído com frequência em bandas de oitava em quatro setores industriais de ramos diferentes: indústria plástica, de vidro, extrusão de alumínio e metalúrgica, bem como avaliar a eficiência de atenuação de três modelos de protetores auditivos (entre eles o de espuma moldável, plug intra-auricular e concha), por meio de dois métodos distintos: o método simples, através da subtração do NRRsf, e o método longo, com a análise espectral conforme as diretrizes da ABNT NBR 16077:2021. Foram realizadas quatro avaliações quantitativas de ruído com audiodosímetros configurados segundo os critérios da NR-15 e NHO-01. Os resultados indicaram que as frequências mais críticas se situam entre 500 Hz e 4000 Hz. Identificou-se uma discrepância entre os métodos de cálculo, especialmente nos protetores tipo plug intra-auricular e de espuma moldável, que apresentaram desempenho inferior no método longo. Já o protetor tipo concha demonstrou maior desempenho e atenuação efetiva em todos os ambientes analisados. Conclui-se que o método longo oferece uma estimativa mais precisa da proteção real e deve ser considerado na seleção de equipamentos de proteção auditiva para garantir maior segurança aos trabalhadores.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído; Higiene Ocupacional; Bandas de Oitava; Método Longo.

¹ Pós-graduanda em Higiene Ocupacional, Engenharia de Segurança do Trabalho, Ciência de dados e Psicologia Organizacional e do Trabalho. Graduada em Psicologia. Formada em curso técnico de segurança do trabalho e curso de desenvolvimento de sistema. Docente em cursos de Graduação e Pós-Graduação no Centro Universitário UNIVINTE em disciplinas de Psicologia e Segurança do Trabalho. Técnica especialista em saúde e segurança para as indústrias no Serviço Social da Indústria – SESI/SC. Membro associada da ABERGO – Associação Brasileira de Ergonomia. Membro da ABHO – Associação Brasileira de Higiene Ocupacional. Membro do Comitê Técnico de Saúde Mental e Riscos Psicossociais da ABERGO. Parecerista de manuscritos na Revista Ação Ergonômica.



1. INTRODUÇÃO

O ruído ocupacional em níveis elevados é um dos principais agentes nocivos nos ambientes de trabalho, responsável por danos auditivos irreversíveis, além de impactar a qualidade de vida dos trabalhadores e gerar prejuízos para empresas e a sociedade (Bistafa, 2018). Conforme relatado por Dias (2006), é o agente mais comum identificado em ambientes de trabalho.

Para a avaliação do ruído, a legislação brasileira estabelece normas como a Norma Regulamentadora 15 (NR-15), Norma Regulamentadora 09 (NR-09) e a Norma de Higiene Ocupacional 1 (NHO-01), ambas do Ministério do Trabalho. A NR-15 determina os limites de tolerância e a dose máxima de ruído, definindo, por exemplo, que a dose de 100% (ou 1) é atingida com uma exposição de 85 dB (A) por 8 horas. A NHO-01 aborda as técnicas para avaliação de ruído com objetivo de disseminar a adoção de medidas preventivas e prevenir danos à saúde, tendo conteúdos de abrangência internacional.

A NR-09 determina requisitos para as avaliações de exposições ocupacionais por agentes físicos, químicos e biológicos, identificados no Programa de Gerenciamento de Riscos - PGR, conforme a Norma Regulamentadora 01 (NR-01), como apoio para as medidas de controle de riscos.

Os níveis de pressão sonora acima de 80 dB (A), segundo a NR-09 e acima 82 dB (A), segundo a NHO-01, são classificados como valores dentro do nível de ação, os quais em jornadas de 8h de trabalho já devem ser iniciadas ações para prevenção contra exposição.

Apesar de existirem medidas prioritárias de controle estabelecidas pela NR-01, como a eliminação, controle e minimização, o EPI é, na prática, a solução mais comum adotada pelas empresas, sendo que esta deveria ser a última opção.

Em muitos casos, a seleção do Equipamento de Proteção Auditiva (EPA), não segue as determinações da Norma Regulamentadora 06 (NR-01) e não utiliza metodologias claras e precisas, expondo os trabalhadores a ruídos prejudiciais que podem causar doenças como a Perda Auditiva Induzida por Níveis de Pressão Sonora Elevados (PAINPSE) (Hillesheim, 2022). A falta de uma norma que



especifique a metodologia de uma forma mais adequada impede que se tenha uma ideia clara do grau efetivo de proteção.

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo analisar a exposição ao ruído ocupacional por meio de filtros de bandas de oitava em quatro ramos de atividades indústrias diferentes. Além disso, buscou-se identificar padrões de frequência sonora e analisar a eficiência de atenuação dos equipamentos de proteção auditiva, comparando os métodos simples e longo, conforme a ABNT NBR 16077:2021.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 O RUÍDO

Para Bistafa (2018) e a NBR 16077:2021, o ruído é considerado um som indesejável e tons não coordenados, não harmônicos, que podem gerar efeitos adversos ao organismo. Bistafa (2018) ressalta que o conceito de som incômodo pode ser algo subjetivo, pois depende de fatores como períodos do dia e situações de exposição, podendo ser considerado agradável ou desagradável pelo ouvinte.

As frequências sonoras são as variações entre as pressões sonoras, formando um espectro, que é composto de infrassons, sons audíveis aos seres humanos (frequências compreendidas entre 20Hz e 20000Hz), e ultrassons Bistafa, 2018). As frequências audíveis se relacionam com a altura tonal, que podem ser definidas em três aspectos: os sons graves com frequência inferior a 200 Hz, os sons médios entre 200 Hz a 2000 Hz e os sons agudos acima de 2000 Hz (Bistafa, 2018).

Em normas como a ISO 266:1997 e a ISO 11690-1:2020, são abordadas questões acústicas, nas ISOs as frequências sonoras são padronizadas por filtros. Um dos filtros mais para avaliações ocupacionais de ruído é o filtro de banda de oitava, que divide as frequências do espectro sonoro em faixas normalizadas pela sua frequência central entre 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz e 16000 Hz (Bistafa, 2018).

O nível de pressão sonora é a medida física para a sensação subjetiva de intensidade sonora, ele pode ser representado em decibéis (dB), que pertence a uma



escala logarítmica (Bistafa, 2018). De acordo com o SESI (2007) o som ouvido pelos seres humanos não corresponde de forma linear aos sons que estão no ambiente, através dos estudos de Fletcher e Munson se obtiveram as curvas isoaudíveis, que foram introduzidas em equipamentos de medição, para que se aproximem com maior precisão sobre as faixas de audibilidade humanas, sendo estes ajustes, realizados nas frequências captadas através de filtros normalizados definidos como A, B, C, D e Z, conforme a NBR 16077:2021. Para Bistafa (2018) o filtro de ponderação A é o mais utilizado e devido a sua maior semelhança com as respostas do sistema auditivo humano.

Os níveis de ruído acima do limite de 85 dB (A) em uma exposição de 8 horas diárias são suficientes para efeitos no organismo, como PAINPSE - Perda Auditiva Induzida por Níveis de Pressão Sonora, que, segundo Gusmão (2021) é considerada uma das doenças ocupacionais de maior prevalência no mundo, provocando lesões na estrutura interna auditiva, as quais Bistafa (2018) aponta como irreversíveis, e outras, tais como fadiga, cansaço e estresse, afetando os trabalhadores nos planos físico, psicológico e social e em sua qualidade de vida.

Apenas a utilização do equipamento de proteção auditiva pode não ser suficiente para a proteção do trabalhador, especialmente quando o empregador adota critérios e técnicas inadequados para seleção de equipamentos de proteção auditiva, não fornecendo a atenuação adequada, o que pode resultar em ações indenizatórias em face da incapacidade (Vieira, 2018).

Para seleção de EPAs, é importante observar os critérios para atenuação. Mesmo com uso do equipamento, o trabalhador pode estar exposto a níveis elevados de ruído, por isso é essencial realizar cálculos para garantir que a atenuação seja suficiente.

Para o cálculo de atenuação do ruído, destaca-se dois métodos definidos pela Norma ABNT NBR 16077:2021:

- a) o método simples, que analisa a atenuação do nível de pressão sonora global, conforme as seguintes fórmulas:

$$\text{Nível de Exposição} = \text{Nível de Pressão Sonora} - \text{NRRsf}$$



- b) o método longo, que analisa a atenuação do ruído através da análise das frequências sonoras em bandas de oitava, conforme a seguinte fórmula:

$$\text{Nível de Exposição} = \text{Nível de Pressão Sonora} - (\text{Atenuação média} - 2 \times \text{Desvio padrão})$$

O método simples utiliza um valor único para redução de ruído, o NRRsf, subtraindo a intensidade de concentração do ruído pelo NRRsf, enquanto o método longo utiliza atenuação em níveis de pressão sonora por frequências, descontando dois desvios padrões, apresentando um nível de confiabilidade de 98%.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Foi realizada pesquisa bibliográfica acerca dos conceitos teóricos abordados e pesquisa em campo para coleta de dados. Em campo foram realizadas quatro avaliações quantitativas de ruído, uma para cada trabalhador das indústrias de plástico, vidro, extrusão de alumínio e metalúrgica na cidade de Tubarão, no estado de Santa Catarina, com equipamentos audiodosímetros com filtro de bandas de oitava. Para critério de seleção das atividades indústrias, foi realizada de forma aleatória, conforme a demanda de avaliações ambientais que surgiram para o autor. O critério de seleção dos trabalhadores, também foi realizado de forma aleatória, conforme e o trabalhador que estava disponível para realizar as atividades.

Os equipamentos utilizados foram medidores audiodosímetros, modelo Smart dB da Chrompack, com calibração realizada pelo fabricante e pré-calibração e pós calibração em 114 dB (A) realizadas no dia da avaliação, fazendo leituras próximas ao ouvido dos trabalhadores, conforme as determinações da NR-15 e NHO-01.

A **Figura 1** apresenta os parâmetros utilizados para configuração dos audiodosímetros utilizados nas avaliações de ruído realizadas. O Dosímetro 01 seguiu os critérios da NHO-01 - item 6.2.1.1, enquanto o Dosímetro 02 seguiu os critérios da NR-15 - Anexo I. Como parâmetros de configurações dos audiodosímetros, foi utilizado o incremento de duplicação de dose $q = 3$ para se obter



o NE dB (A), o nível de exposição, que se iguala ao LEQ dB (A) e $q = 5$ para o LAVG dB (). Os valores referentes às frequências em bandas de oitava foram obtidos somente com $q = 3$, devido a restrições técnicas do equipamento. No entanto, recomenda-se o uso de $q = 3$, pois este critério concebe valores com maior proteção, sendo utilizado por organizações internacionais, considerado o princípio da energia de exposição (SESI, 2017). Os dados dos níveis de pressão sonora foram fornecidos através dos relatórios das avaliações gerados pelo software disponibilizado pelo fabricante do audiodosímetros.

Figura 1: Parâmetros para configuração dos audiodosímetros utilizados nas avaliações de ruído

Dosímetros	Nível de Critério	Nível Limiar	Taxa de dobra	Ponderação em Frequência	Ponderação Temporal
Dosímetro 01	85 dB	80 dB	3 dB	A	Slow
Dosímetro 02	85 dB	80 dB	5 dB	A	Slow

Fonte: Autor, (2025)

Para realizar os cálculos de atenuação foram selecionados três modelos de EPAs de um mesmo fabricante: a) protetor auditivo tipo espuma moldável (CA 5647), b) protetor auditivo intra-auricular tipo plug (CA 5745), e c) protetor auditivo abafador modelo com haste acima da cabeça (CA 14235). As informações sobre atenuações em frequências por bandas de oitava e da taxa de atenuação do ruído em colocação subjetiva, o NRRsf (Noise Reduction Rate Subject Fit), para ambos os métodos, foram obtidos através do Certificado de Aprovação (A) e no boletim técnico de cada EPA (3M Segurança Pessoal, 2017, 2018 e 2020).

Os dados coletados foram organizados e analisados por meio do software Microsoft Excel®, com o emprego de fórmulas para valores de atenuação conforme os parâmetros previstos na Norma ABNT NBR 16077:2021 para o método simples e o método longo. Por fim, foram comparadas as frequências sonoras mais abrangentes no espectro sonoro e realizado o cálculo da média global de atenuação, conforme a seguinte fórmula:

$$L_{pt} = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10})$$

Os resultados obtidos foram organizados em tabelas divididas, conforme as seguintes divisões:

- a) a terceira linha da tabela aborda em verde os valores resultantes nas avaliações com valores do NPS para cada banda de oitava e na quarta linha o valor da atenuação do ruído proposto pelo CA de cada equipamento. A direita da estação os valores do ruído em LEQ, LAVG e a média global.
- b) a partir da quinta linha estão os valores do cálculo de atenuação para cada modelo de EPA, no qual foi especificado o valor da atenuação média, o desvio padrão e o cálculo do NPS conforme o método longo. A direita da estação os valores da atenuação do NRRsf e da média global, com os resultados dos cálculos em verde, os resultados estão divididos em valores de ruído em LEQ, LAVG e a média global.

Nas tabelas o nível de exposição (NE) refere-se ao LEQ dB (A), com nível de pressão sonora calculado a partir dos critérios da NHO-01, e LAVG dB (A), que emprega dos critérios da NR-15.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A **Tabela 1** representa os resultados dos valores dos níveis de pressão sonora por ramo de atividade, fonte de ruído e a intensidade da pressão sonora. Do ponto de vista preventivo, segundo a NHO-01, há três situações de exposições acima de 87 dB (A): a indústria de vidro e a de perfis de alumínio e metalúrgica, todas com exposições acima do limite de tolerância. Há uma exposição, da indústria de plástico, dentro do nível de ação, onde também há necessidade de medidas de controle.

Ao analisar do ponto da NR-15, que disciplina a insalubridade, há duas situações de exposições acima de 85 dB (A): a indústria de vidro e a de perfis de alumínio. Ambas, portanto, configuram uma condição insalubre, com exposições acima do limite de tolerância. Associando as orientações da Fundacentro, em seu



Guia Técnico sobre estratégia de amostragem e interpretação de resultados de avaliações quantitativas de agentes químicos em ambientes de trabalho (2018), não é possível assegurar que 84,7 dB (A), na atividade da indústria metalúrgica, seja um valor abaixo do limite de tolerância devido a restrições de amostragem estatística, ao menos um número mínimo de resultados deve ser obtido para que possa existir uma confiança estatística aceitável, mas observado isoladamente, configura um valor a nível de ação, que no viés prevencionista, há necessidade de medidas de controle, também, segundo a NR-09.

Tabela 1: Resultados dos níveis de pressão sonora por ramo industrial

Indústria	Fonte de ruído	LEQ dB (A)	LAVG dB (A)
Plástico	Máquina injetora	84,9	80
Vidro	Máquina lapidadora bilateral	100,1	99,6
Perfil de alumínio	Máquina de corte de perfis	97,4	92,1
Metalurgia	Máquina de solda tig, mig e corte	90,1	84,7

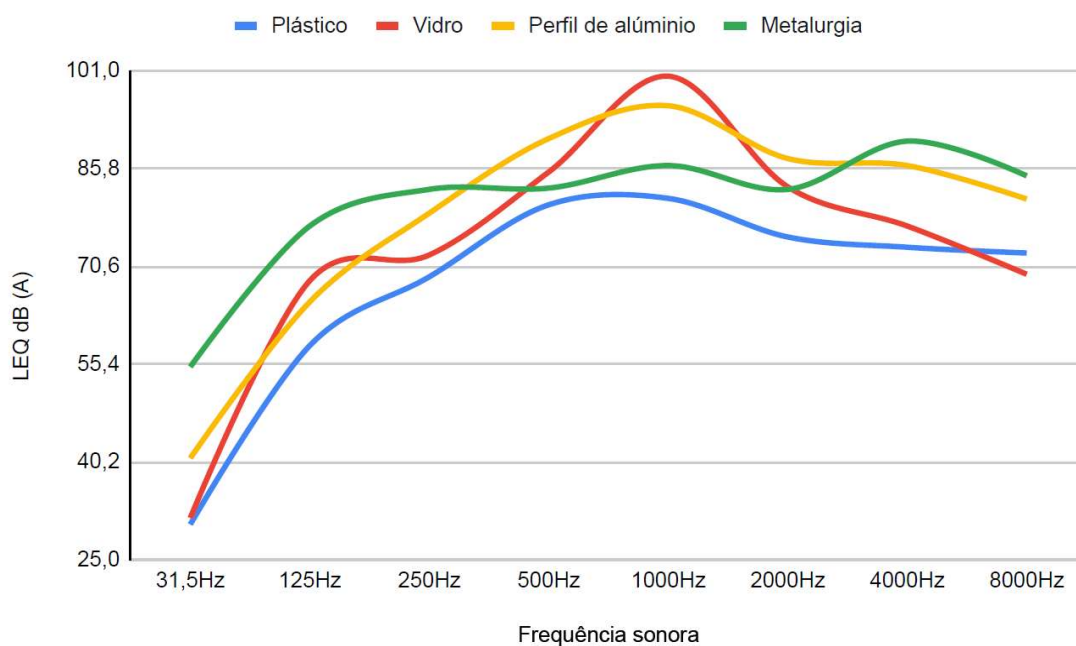
Fonte: Autor, (2025)

O **Gráfico 1** representa a comparação dos níveis de pressão sonora, o NE dB(A), conforme a NHO-01, obtidos entre as frequências em bandas de oitava por ramo de atividade.

A indústria plástica apresentou maior incidência de nível de pressão sonora entre 500 Hz e 1000 Hz, a indústria de vidro entre 500 Hz e 2000 Hz. A indústria de alumínio entre 500 Hz e 8000 Hz e a indústria metalúrgica entre 1000 Hz e 8000 Hz.

Gráfico 1: Gráfico comparativo do nível equivalente por banda de oitava ponderado das indústrias





Fonte: Autor, (2025)

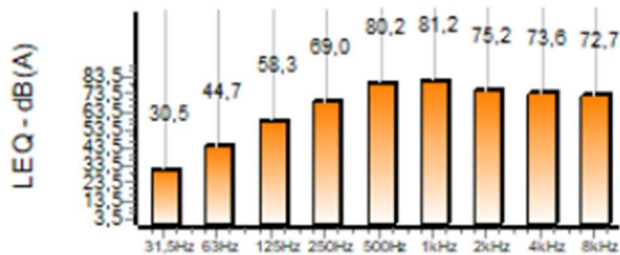
Analisando os dados de forma global, percebe-se que os níveis de intensidade mais críticos estão entre 500 Hz e 4000 Hz, sendo de maior prevalência as altas intensidades em frequências médias e agudas. A intensidade nas atividades da indústria de plástico e vidro estão entre frequências médias, enquanto na indústria de alumínio e na metalurgia há maior intensidade entre frequências médias e agudas.

4.1 INDÚSTRIA DE PLÁSTICO

O **Gráfico 2** representa os níveis equivalentes de pressão sonora (LEQ dB (A)) por bandas de oitava, em atividades na indústria de plástico, cujo a principal fonte de ruído são máquinas injetoras que produzem produtos de plástico, no qual o trabalhador realizou a retirada de peças das máquinas e monitoramento do painel de controle. Observou-se que em todas as bandas os valores de mantiveram abaixo do nível de ação e limite de tolerância, segundo a NHO-01.

Gráfico 2: Indústria de Plástico – Nível equivalente por banda de oitava ponderado (LEQ)





Fonte: Autor, (2025)

A **Tabela 2** apresenta os resultados obtidos nos cálculos de atenuação dos protetores auditivos na amostra da indústria de plástico, utilizando o método simples e o método longo na indústria plástica. Pode-se perceber que dentre os protetores analisados todos foram eficientes, apresentando valores abaixo do nível de ação e do limite de tolerância.

Tabela 2: Resultado do cálculo de atenuação dos protetores auditivos na indústria de plástico

Nível de pressão sonora por frequências em bandas de oitava												
REF	Frequências	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz		LEQ	LAVG	GLOBAL
NPS	Nível de pressão sonora	58,3	69	80,2	81,2	75,2	73,6	72,7		84,9	80	85,05
		5,83	6,9	8,02	8,12	7,52	7,36	7,27				
Calculo de atenuação - Protetor auditivo - Tipo espuma moldável - CA 5647												
AM	Atenuação média	18	19	22	20	28	34	34		NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	6	6	6	5	5	7	8		16	16	10,82
NPS = NPS - (AM - 2 x DP)		52,3	62	70,2	71,2	57,2	53,6	54,7		68,9	64	74,23
		5,23	6,2	7,02	7,12	5,72	5,36	5,47				
Calculo de atenuação - Protetor auditivo - Tipo plug - CA 5745												
AM	Atenuação média	23	24	27	23	27	33	38		NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	5	5	5	5	4	6	5		19	19	15,19
NPS = NPS - (AM - 2 x DP)		45,3	55	63,2	68,2	56,2	52,6	44,7		65,9	61	69,86
		4,53	5,5	6,32	6,82	5,62	5,26	4,47				
Calculo de atenuação - Protetor auditivo CA 14235												
AM	Atenuação média	12	17	26	35	31	29	27		NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	3	3	3	4	1	2	4		20	20	21,14
NPS = NPS - (AM - 2 x DP)		52,3	58	60,2	54,2	46,2	48,6	53,7		64,9	60	63,91
		5,23	5,8	6,02	5,42	4,62	4,86	5,37				

Fonte: Autor, (2025)

Analisando a média global de atenuação, conforme as diretrizes da NHO-01, os resultados apresentaram discrepância entre o valor de atenuação fornecido pelo equipamento (NRRsf), conforme os seguintes dados:

a) Para o protetor tipo espuma moldável o NRRsf é de 16 dB e o valor da média global de atenuação resultou em 10,82 dB, sendo menor que o valor de referência inicial, com uma diferença de 5,18 dB.



b) Para o protetor tipo plug o NRRsf é de 19 dB o valor da média global para atenuação de atenuação resultou em 15,19, sendo menor que o valor de referência inicial, com uma diferença de 3,81 dB.

c) Para o protetor auditivo tipo abafador o NRRsf é de 20 dB e o valor da média global para atenuação resultou em 21,24, sendo maior que valor de referência inicial, com uma diferença de 1,14 dB.

Quando analisadas as atenuações do NE dB (A) subtraído pelo NRRsf e pela média global, também há diferenças:

a) Para o protetor auditivo tipo espuma moldável, o cálculo de atenuação pelo método simples resultou no valor de exposição de NE 68,9 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação, e na atenuação pela média global por bandas de oitava o valor de exposição é de NE 74,23 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação.

b) Para o protetor auditivo tipo intra-auricular tipo plug, o cálculo de atenuação pelo método simples resultou no valor de exposição de NE 65,9 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação, e a média global na atenuação por bandas de oitava o valor de exposição é de NE 69,86 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação.

c) Para o protetor auditivo tipo abafador, o cálculo de atenuação pelo método simples resultou no valor de exposição de NE 64,9 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação, e na atenuação pela média global por bandas de oitava o valor de exposição é de NE 63,91 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação.

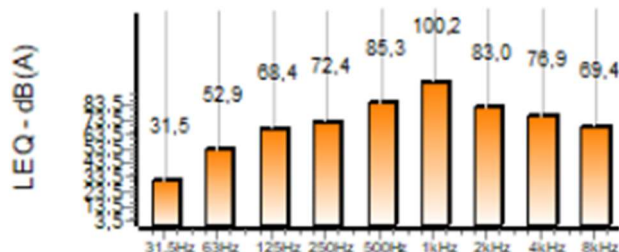
4.2 INDÚSTRIA DE VIDRO

O **Gráfico 3** representa os níveis equivalentes de pressão sonora (LEQ dB (A)) por banda de oitava em atividades da indústria de fabricação de vidros, cuja principal fonte de ruído foi uma máquina lapidadora bilateral, no qual o trabalhador realizou a inserção e retirada de peças na máquina e operação do painel de controle. Observou-se que nas bandas de 500 Hz a 1000 Hz, os níveis ultrapassaram o limite de tolerância, e em 2000 Hz atingiram o nível de ação, conforme os critérios da NHO-



01.

Gráfico 3: Indústria de Vidro – Nível equivalente por banda de oitava ponderado (LEQ)



Fonte: Autor, (2025)

A **Tabela 3** apresenta os resultados obtidos nos cálculos de atenuação dos protetores auditivos na amostra da indústria de vidro, utilizando o método simples e o método longo na indústria de vidro, sendo que dois protetores auditivos não foram eficientes em 1000 Hz.

Tabela 3: Resultado do cálculo de atenuação dos protetores auditivos na indústria de vidro

Nível de pressão sonora por frequências em bandas de oitava											
REF	Frequências	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	LEQ	LAVG	GLOBAL
NPS	Nível de pressão sonora	68,4	72,4	85,3	100,2	83	76,9	69,4	100,1	99,6	100,45
		6,84	7,24	8,53	10,02	8,3	7,69	6,94			
Calculo de atenuação - Protetor auditivo - Tipo espuma moldável - CA 5647											
AM	Atenuação média	18	19	22	20	28	34	34	NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	6	6	6	5	5	7	8			
	NPS = NPS - (AM - 2 x DP)	62,4	65,4	75,3	90,2	65	56,9	51,4	84,1	83,6	90,37
		6,24	6,54	7,53	9,02	6,5	5,69	5,14			
Calculo de atenuação - Protetor auditivo - Tipo plug - CA 5745											
AM	Atenuação média	23	24	27	23	27	33	38	NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	5	5	5	5	4	6	5			
	NPS = NPS - (AM - 2 x DP)	55,4	58,4	68,3	87,2	64	55,9	41,4	81,1	80,6	87,29
		5,54	5,84	6,83	8,72	6,4	5,59	4,14			
Calculo de atenuação - Protetor auditivo - Tipo abafador - CA 14235											
AM	Atenuação média	12	17	26	35	31	29	27	NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	3	3	3	4	1	2	4			
	NPS = NPS - (AM - 2 x DP)	62,4	61,4	65,3	73,2	54	51,9	50,4	80,1	79,6	74,46
		6,24	6,14	6,53	7,32	5,4	5,19	5,04			

Fonte: Autor, (2025)

O protetor auditivo de espuma, através do método longo, não alcançou atenuação na frequência de 1000Hz, com valor de pressão sonora de 90,2 LEQ dB (A), segundo a NHO-01. Através do método simples, o valor da pressão sonora



atingiu o nível de ação com 84,1 LEQ dB (A) segundo a NHO-01 e 83,6 LAVG dB (A) segundo a NR-09.

O protetor auditivo intra-auricular, através do cálculo do método longo, não alcançou atenuação na frequência de 1000Hz, com valor da pressão sonora de 87,2 LEQ dB(A), segundo a NHO-01. Através do método simples, o valor da pressão sonora atingiu o valor de 81,1 LEQ dB (A), abaixo do nível de ação, segundo a NHO-01 e 80,6 LAVG dB (A), acima do nível de ação, segundo a NHO-09.

O protetor auditivo abafador, através do método longo e simples, apresentou valores de atenuação abaixo do nível de ação e limite de tolerância, segundo a NHO-01 e a NR- 15, apresentando a melhor eficiência.

Analisando a média global de atenuação, conforme as diretrizes da NHO-01, os resultados apresentaram discrepância entre o valor de atenuação fornecido pelo equipamento (NRRsf), conforme os seguintes dados:

a) Para o protetor tipo espuma moldável o NRRsf é de 16 dB e o valor da média global de atenuação resultou em 10,08 dB, sendo menor que o valor de referência inicial, com uma diferença de -5,92 dB.

b) Para o protetor tipo plug o NRRsf é de 19 dB o valor da média global para atenuação de atenuação resultou em 13,16, sendo menor que o valor de referência inicial, com uma diferença de -5,84 dB.

c) Para o protetor auditivo tipo abafador o NRRsf é de 20 dB e o valor da média global para atenuação de atenuação resultou em 25,99 sendo maior que o valor de referência inicial, com uma diferença de 5,99 dB.

Quando analisadas as atenuações do NE dB (A) subtraído pelo NRRsf e pela média global, também há diferenças:

a) Para o protetor auditivo tipo espuma moldável, o cálculo de atenuação pelo método simples resultou no valor de exposição de NE 81,4 dB (A) pelo método simples, abaixo do limite de tolerância e nível de ação, mas ao observar a atenuação pela média global por bandas de oitava o valor de exposição é de NE 90,37 dB (A), acima do limite de tolerância.

b) Para o protetor auditivo tipo plug, o cálculo de atenuação pelo método simples resultou no valor de exposição de NE 81,1 dB (A) pelo método simples, abaixo do limite de tolerância e nível de ação, mas ao observar a atenuação pela



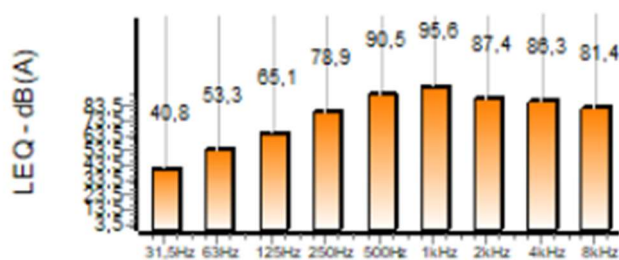
média global das atenuações por bandas o valor de exposição é de NE 87,29 dB (A), acima do limite de tolerância.

c) Para o protetor auditivo tipo abafador, o cálculo de atenuação pelo método simples resultou no valor de exposição de NE 77,4 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação, e na atenuação pela média global por bandas de oitava o valor de exposição é de NE 74,64 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação.

4.3 INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO

O **Gráfico 4** representa os níveis equivalentes de pressão sonora (LEQ dB (A)) por banda de oitava em atividades da indústria de extrusão de alumínio, cujo a principal fonte de ruído foi uma máquina de corte de perfis de alumínio e máquina extrusora ao fundo, no qual o trabalhador realizou a inserção e retirada de perfis da bancada da máquina. Observou-se que nas bandas de 500 Hz a 4000 Hz, os níveis ultrapassaram o limite de tolerância, e em 8000 Hz quase atingiu o nível de ação, conforme os critérios da NHO-01.

Gráfico 4: Indústria de Alumínio – Nível equivalente por banda de oitava ponderado (LEQ)



Fonte: Autor, (2025)

A **Tabela 4** apresenta os resultados obtidos nos cálculos de atenuação dos protetores auditivos na amostra da indústria de alumínio, utilizando o método simples e o método longo na indústria de alumínio, sendo que dois protetores auditivos não foram eficientes.

Tabela 4: Resultado do cálculo de atenuação dos protetores auditivos na indústria de alumínio

Nível de pressão sonora por frequências em bandas de oitava											
REF	Frequências	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	LEQ	LAVG	GLOBAL
NPS	Nível de pressão sonora	65,1	78,9	90,5	95,6	87,4	86,3	81,1	97,4	92,1	97,74
		6,51	7,89	9,05	9,56	8,74	8,63	8,11			
Calculo de atenuação - Protetor auditivo - Tipo espuma moldável - CA 5647											
AM	Atenuação média	18	19	22	20	28	34	34	NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	6	6	6	5	5	7	8			
NPS = NPS - (AM - 2 x DP)		59,1	71,9	80,5	85,6	69,4	66,3	63,1	81,4	76,1	87,05
		5,91	7,19	8,05	8,56	6,94	6,63	6,31			
Calculo de atenuação - Protetor auditivo - Tipo plug - CA 5745											
AM	Atenuação média	23	24	27	23	27	33	38	NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	5	5	5	5	4	6	5			
NPS = NPS - (AM - 2 x DP)		52,1	64,9	73,5	82,6	68,4	65,3	53,1	78,4	73,1	83,39
		5,21	6,49	7,35	8,26	6,84	6,53	5,31			
Calculo de atenuação - Protetor auditivo - Tipo abafador - CA 14235											
AM	Atenuação média	12	17	26	35	31	29	27	NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	3	3	3	4	1	2	4			
NPS = NPS - (AM - 2 x DP)		59,1	67,9	70,5	68,6	58,4	61,3	62,1	77,4	72,1	74,64
		5,91	6,79	7,05	6,86	5,84	6,13	6,21			

Fonte: Autor, (2025)

O protetor auditivo de espuma, através do cálculo do método longo, não alcançou atenuação na frequência de 1000Hz, com valor da pressão sonora de 85,6 LEQ dB (A), segundo a NHO-01. Através do método simples, o valor da pressão sonora atingiu o nível de 81,4 LEQ dB (A), segundo a NHO-01 e 76,1 LAVG dB (A), segundo a NR-15, ambos abaixo do nível de ação e limite de tolerância.

O protetor auditivo intra-auricular, através do cálculo do método longo, não alcançou atenuação na frequência de 1000Hz, com valor da pressão sonora em nível de ação em 82,6 LEQ dB(A), segundo a NHO-01. Através do método simples, o valor da pressão sonora atingiu o valor de 78,4 LEQ dB (A) e 73,1 LAVG dB (A), ambos abaixo do nível de ação e limite de tolerância, segundo a NHO-01 e a NR-15.

O protetor auditivo abafador, através do método longo e simples, apresentou valores de atenuação abaixo do nível de ação e limite de tolerância, segundo NHO-01 e NR-15, apresentando a melhor eficiência.

Analisando a média global de atenuação, conforme as diretrizes da NHO-01, os resultados apresentaram discrepância entre o valor de atenuação fornecido pelo equipamento (NRRsf), conforme os seguintes dados:

a) Para o protetor tipo espuma moldável o NRRsf é de 16 dB e o valor da média global de atenuação resultou em 10,69 dB, sendo menor que o valor de referência inicial, com uma diferença de -5,31 dB



b) Para o protetor tipo plug o NRRsf é de 19 dB o valor da média global para atenuação de atenuação resultou em 14,35, sendo menor que o valor de referência inicial, com uma diferença de -4,65 dB.

c) Para o protetor auditivo tipo abafador o NRRsf é de 20 dB e o valor da média global para atenuação de atenuação resultou em 23,1 dB sendo maior que o valor de referência inicial, com uma diferença de 3,11 dB.

Quando analisadas as atenuações do NE dB (A) subtraído pelo NRRsf e pela média global, também há diferenças:

a) Para o protetor auditivo tipo espuma moldável, o cálculo de atenuação pelo método simples resultou no valor de exposição de NE 81,4 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação, mas ao observar a atenuação pela média global das atenuações por bandas de oitava o valor de exposição é de NE 87,05 dB (A), acima do limite de tolerância.

b) Para o protetor auditivo tipo plug, os cálculos de atenuação pelo método simples resultaram no valor de exposição de NE 78,4 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação, mas ao observar a atenuação pela média global das atenuação por bandas o valor de exposição é de NE 83,39 dB (A), acima do nível de ação.

c) Para o protetor auditivo tipo abafador, o cálculo de atenuação pelo método simples resulta no valor de exposição de NE 77,4 dB (A) pelo método simples, abaixo do limite de tolerância, mas ao observar a atenuação pela média global das atenuações por bandas o valor de exposição é de NE 74,64 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação.

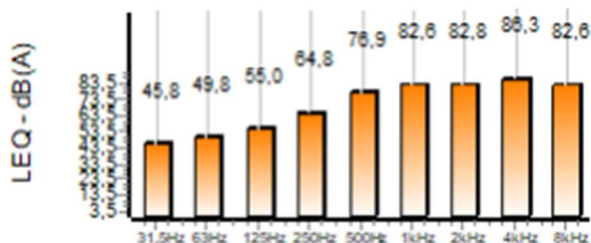
4.4 INDÚSTRIA METALÚRGICA

O **Gráfico 5** representa os níveis equivalentes de pressão sonora (LEQ dB (A)) por banda de oitava em atividades da indústria metalúrgica, cujo as principais fontes de ruído foram máquina de soldadura TIG, MIG e máquina de corte, o qual o trabalhador realizou atividades de soldagem e corte de peças metálicas. Observou-se que nas bandas entre 1000 Hz, 2000 e 8000 Hz o nível de pressão sonora está acima do nível de ação e em 4000 Hz ultrapassou o limite de tolerância, segundo a



NHO-01.

Gráfico 5: Indústria Metalúrgica – Nível equivalente por banda de oitava ponderado (LEQ)



Fonte: Autor, (2025)

A **Tabela 5** apresenta os resultados obtidos nos cálculos de atenuação dos protetores auditivos na amostra da indústria metalúrgica, utilizando o método simples e o método longo na indústria metalúrgica. Pode-se perceber que dentre os protetores analisados todos foram eficientes, os LEQs dB (A) e LAVG dB (A) apresentam valores abaixo do nível de ação e do limite de tolerância, sendo que o LAVG (A) não ultrapassava o nível de ação.

Tabela 5: Resultado do cálculo de atenuação dos protetores auditivos na indústria metalúrgica

Nível de pressão sonora por frequências em bandas de oitava												
REF	Frequências	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz		LEQ	LAVG	GLOBAL
NPS	Nível de pressão sonora	55	64,8	76,9	82,6	82,8	86,3	82,6		90,1	84,7	90,14
		5,5	6,48	7,69	8,26	8,28	8,63	8,26				
Calculo de atenuação - Protetor auditivo - Tipo espuma moldável - CA 5647												
AM	Atenuação média	18	19	22	20	28	34	34		NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	6	6	6	5	5	7	8		16	16	14,83
NPS = NPS - (AM - 2 x DP)		49	57,8	66,9	72,6	64,8	66,3	64,6		74,1	68,7	75,31
		4,9	5,78	6,69	7,26	6,48	6,63	6,46				
Calculo de atenuação - Protetor auditivo - Tipo plug - CA 5745												
AM	Atenuação média	23	24	27	23	27	33	38		NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	5	5	5	5	4	6	5		19	19	18,02
NPS = NPS - (AM - 2 x DP)		42	50,8	59,9	69,6	63,8	65,3	54,6		71,1	65,7	72,12
		4,2	5,08	5,99	6,96	6,38	6,53	5,46				
Calculo de atenuação - Protetor auditivo - Tipo abafador - CA 14235												
AM	Atenuação média	12	17	26	35	31	29	27		NRRsf	NRRsf	GLOBAL
DP	Desvio padrão	3	3	3	4	1	2	4		20	20	23,11
NPS = NPS - (AM - 2 x DP)		49	53,8	56,9	55,6	53,8	61,3	63,6		70,1	64,7	67,03
		4,9	5,38	5,69	5,56	5,38	6,13	6,36				

Fonte: Autor, (2025)



Analisando a média global de atenuação, conforme as diretrizes da NHO-01, os resultados apresentaram discrepância entre o valor de atenuação fornecido pelo equipamento (NRRsf), conforme os seguintes dados:

a) Para o protetor tipo espuma moldável o NRRsf é de 16 dB e o valor da média global de atenuação resultou em 14,83 dB, sendo menor que o valor de referência inicial, com uma diferença de -1,17 dB.

b) Para o protetor tipo plug o NRRsf é de 19 dB o valor da média global para atenuação de atenuação resultou em 18,02, sendo menor que o valor de referência inicial, com uma diferença de -0,98 dB.

c) Para o protetor auditivo tipo abafador o NRRsf é de 20 dB e o valor da média global para atenuação de atenuação resultou em 23,11 dB sendo maior que o valor de referência inicial, com uma diferença de 3,11 dB.

Quando analisadas as atenuações do NE dB (A) subtraído pelo NRRsf e pela média global, também há diferenças:

a) Para o protetor auditivo tipo espuma moldável, o cálculo de atenuação pelo método simples resulta um valor de exposição de NE 74,1 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação e a atenuação pela média global por bandas de oitava o valor de exposição é de NE 75,31 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação pela NHO-01.

b) Para o protetor auditivo tipo intra-auricular tipo plug, o cálculo de atenuação pelo método simples resultou um valor de exposição de NE 71,1 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação e a média global da atenuação por bandas de oitava o valor de exposição é de NE 72,12 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação pela NHO-01

c) Para o protetor auditivo tipo abafador, o cálculo de atenuação pelo método simples resulta no valor de exposição de NE 70,1 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação e a atenuação pela média global da atenuação por bandas de oitava o valor de exposição é de NE 67,03 dB (A), abaixo do limite de tolerância e nível de ação pela NH0-01.



4.5 RESULTADOS E LITERATURA

Este estudo confirma as limitações do método simples (NRRsf) para estimar a proteção real de protetores auditivos, alinhando-se com a literatura de higiene ocupacional. A exposição ao ruído deve considerar a distribuição de energia sonora, especialmente nas frequências mais sensíveis ao ouvido humano (1000 Hz a 4000 Hz). É nessa faixa que foram observadas as maiores falhas de atenuação dos protetores de inserção, destacando a importância da análise espectral.

A discrepância significativa entre a atenuação do método simples e a calculada pelo método espectral valida estudos que indicam a superestimação da eficiência do NRRsf em ambientes reais. Isso pode porque o NRRsf é baseado em condições laboratoriais, obtido através do método de ensaios que pretendem determinar uma atenuação mais próxima da realidade (ANSI S12.6-1997), no entanto, quando se está em um ambiente industrial existem fatores práticos a ser levados em consideração como vedação, posicionamento, higienização e desgastes que podem gerar a perda de eficiência durante a jornada de trabalho.

Os resultados também mostram a superioridade dos protetores tipo concha, especialmente em ambientes com ruídos de frequências médias e altas. Essa conclusão está em sintonia com as orientações da NHO-01 e com as recomendações de profissionais da área, que consideram os abafadores tipo concha mais confiáveis devido à sua vedação consistente e à capacidade de manter a atenuação ao longo do tempo.

Os resultados demonstram a utilidade prática do método longo para identificar falhas de proteção em frequências específicas, como a de 1000 Hz nas indústrias de vidro e alumínio. Essas falhas são particularmente relevantes, pois coincidem com a região da com as primeiras frequências a serem afetadas pela Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAINPSE), tornando a análise espectral uma ferramenta preventiva essencial.

Por fim, este trabalho, reforça a necessidade de se adotar abordagens mais precisas, como a análise espectral. Tais abordagens consideram a distribuição de frequência do ruído e a atenuação real do EPI, afastando-se de práticas simplificadas



para garantir a segurança dos trabalhadores, em conformidade com normas como a ABNT NBR 16077.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nas quatro atividades industriais analisadas, conclui-se que os níveis de ruído mais apresentam maior incidência a partir de 500 Hz e até 2000 Hz, com frequências compatíveis com a maior sensibilidade humano, ou seja, o ruído é mais agressivo a níveis médios e agudos, reforçando a necessidade de análises espectrais para garantir uma proteção efetiva.

A comparação entre os métodos de cálculo e atenuação demonstram discrepâncias entre a utilização do método longo e do método simples nas atividades das indústrias de vidro e extrusão de alumínio, sendo que os equipamentos de proteção auditiva de inserção apresentaram pouca eficiência em atenuação no método simples e pior desempenho no método longo. O método simples, tende a subestimar a exposição real dos trabalhadores. Em contrapartida, o método longo, permitiu identificar falhas de atenuação nas frequências, especialmente em 1000Hz, que acabam passando despercebidas no método simples.

A eficiência dos protetores auditivos também variou conforme o tipo de EPA utilizado. Os protetores auditivos de inserção (espuma moldável e plug intra-auricular) apresentaram desempenho insuficiente no método longo, resultando, em alguns casos, em níveis de exposição acima do limite de tolerância, mesmo quando os valores do NRRsf indicavam proteção adequada. Já o protetor tipo concha demonstrou melhor desempenho na atenuação consistente em todos os ambientes avaliados, mantendo os valores de ruído abaixo do nível de ação e do limite de tolerância.

A análise da média global de atenuação por bandas trouxe discrepâncias importantes em relação ao NRRsf, com reduções de até 6 dB em protetores intra-articulares, o que pode representar risco significativo à saúde auditiva se não for considerado no processo de seleção do EPA.

Desta forma, este estudo mostra que pode chegar a atenuação com o método simples, mas durante alguns momentos da jornada há maior exposição a



determinada frequência a qual o protetor auditivo pode não garante a proteção adequada e tal frequência pode ser identificada com o método longo, fato que, reforça a importância da aplicação do método longo como complemento ao método simples, com uso da análise espectral e da média global por banda de oitava como parâmetro decisivo na avaliação da eficiência real dos EPAs. Portanto, para o melhor desempenho deve-se analisar o ruído e suas frequências, optando por equipamentos que proporcionem eficiência em ambos os métodos, garantindo maior confiabilidade na atenuação

Apesar de representar um recorte limitado, os achados demonstram a necessidade de critérios técnicos mais robustos para avaliação e seleção de EPAs. Os resultados obtidos representam uma amostra e não devem ser generalizados para todas as situações, pois há fatores que limitantes, tais como a variabilidade dos ambientes industriais, a diversidade dos equipamentos de proteção individual auditiva, questões individuais dos trabalhadores, como a sensibilidade auditiva, idade, histórico entre outros fatores.

Desta forma, conclui-se que a informação sobre a frequência sonora por banda através do método longo e a obtenção da média global são importantes parâmetro a ser considerado nos cálculos de atenuação dos protetores auditivos para sua maior eficiência, nota-se em algumas exposições que pelo NRRsf o trabalhador não estaria exposto, já observando pela média global existe uma exposição considerável e, em alguns casos, acima do nível de ação e limite de tolerância.

Para estudos futuros, recomenda-se investigar o desempenho de medidas de controle coletivo, como barreiras acústicas e materiais isolantes, com base na caracterização através da análise por frequências em banda de oitava.

REFERÊNCIAS

1. Bistafa, SR. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. São Paulo Editora Edgar Blucher, 3º Edição, 2018.
2. Dias, A; Cordeiro, R; Corrente,JE; Gonçalves, CGO. **Associação entre perda auditiva induzida pelo ruído e zumbidos**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 22(1):63-68, jan, 2006.



3. Norma Regulamentadora 15. **Atividades e Operações Insalubres. Ministério do Trabalho e Previdência**, 2022. [citado em : 15 de novembro de 2022]. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-15-nr-15>.
4. Fundacentro. **Norma de higiene ocupacional: Procedimento Técnico. Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído. Ministério do Trabalho e Emprego**, Brasil, 2001.
5. Norma Reguladora 9 - **Avaliação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, Químicos e Biológicos**. 2020 [citado em: 15 de novembro de 2022]. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-reguladoras/nr-09-atualizada-2021-com-anexos-vibra-e-calor.pdf>.
6. Vieira, MFM; Kieling, AC; Alencar, DB; Júnior, JAB; Freitas, CO; Souza, MCA. **Análise da Eficiência de Protetores Auditivos aos Níveis de Pressão Sonora Aplicados em Processos de Fabricação Mecânica de uma Empresa do PIM. ITEGAM-JETIA**. Vol. 04, Nº 15, pp 119-130. September, 2018.
7. Hillesheim D, Gonçalves LF, Batista DDC, Goulart MLM, Zucki F. **Perda auditiva induzida por ruído no Brasil: descrição de 14 anos de notificação**. *Audiol Commun Res*. 2022;27:e2585.
8. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16077:2021. **Equipamento de proteção individual – Protetores auditivos – Método de cálculo do nível de pressão sonora na orelha protegida**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2021.
9. Serviço Social da Indústria. Departamento Nacional. **Técnicas de avaliação de agentes ambientais: Manual SESI**. Brasília : SESI/DN, 294 p. 2007.
10. GUSMÃO, Aline Cristina; MEIRA, Tatiane Costa; FERRITE, Sílvia. **Fatores associados à notificação de perda auditiva induzida por ruído no Brasil, 2013-2015: estudo ecológico**. *Epidemiol. Serv. Saúde*, Brasília, 30(2):e2020607, 2021.



11. 3M do Brasil. **Guia 3M para Seleção e Controle de Protetores Auditivos**. Abril de 2021. [citado em: 03 de setembro de 2022]. Disponível em: <<https://multimedia.3m.com/mws/media/2006972O/mining-selector-guide-hearing.pdf>>.

12. 3M Segurança Pessoal. **Boletim Técnico 3M 1100 110**. 2018. [citado em 18 de novembro de 2022]. Disponível em: <<https://multimedia.3m.com/mws/media/1367349O/technical-bulletin-3m-disposable-earplugs-1100-1110.pdf>>

13. 3M Segurança Pessoal. **Boletim Técnico 3M Pump Plus**. 2020. [citado em 18 de novembro de 2022]. Disponível em: <<https://multimedia.3m.com/mws/media/828292O/technical-bulletin-3m-pomp-plus.pdf?fn=Boletim%20T%C3%A9cnico%203M%20Pomp%20Plus.pdf>>

14. 3M Segurança Pessoal. **Boletim Técnico 3M Muffler**. 2017. [citado em 18 de novembro de 2022]. Disponível em: <<https://multimedia.3m.com/mws/media/828292O/technical-bulletin-3m-pomp-plus.pdf?fn=Boletim%20T%C3%A9cnico%203M%20Pomp%20Plus.pdf>>

ABSTRACT

High-level occupational noise is one of the main harmful agents in industrial environments, responsible for irreversible hearing damage. This study aimed to analyze noise levels by frequency in octave bands in four industrial sectors from different branches: plastics, glass, aluminum extrusion, and metallurgy. Additionally, it evaluated the attenuation efficiency of three models of hearing protectors (molded foam, in-ear plug, and earmuff) using two distinct methods: the simple method, by subtracting the NRRsf, and the long method, through spectral analysis in accordance with the guidelines of ABNT NBR 16077:2021. Four quantitative noise assessments were conducted with audiodosimeters configured according to the criteria of NR-15 and NHO-01. The results indicated that the most critical frequencies are between 500 Hz and 4000 Hz. A discrepancy was observed between the calculation methods, especially for the in-ear plug and molded foam protectors, which showed inferior performance with the long method. The earmuff-type protector, however, demonstrated greater reliability and effective attenuation in all environments analyzed. It is concluded that the long method offers a more precise estimate of real protection and should be considered when selecting hearing protection equipment to ensure greater safety for workers.



KEYWORDS: Noise; Occupational hygien; Octave Bands; Long Method.

