

RICARDO RIERA SALOMON

AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL AO RUÍDO EM UMA
MARMORARIA

São Paulo

2021

RICARDO RIERA SALOMON

AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL AO RUÍDO EM UMA
MARMORARIA

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Especialista em
Higiene Ocupacional

São Paulo
2021

Ao meu irmão Luiz Antônio Chiaradia
Salomon fonte de inspiração e de
aprendizado, que o altíssimo te receba de
braços abertos.

AGRADECIMENTOS

Aos professores do curso de especialização em Higiene Ocupacional da Universidade de São Paulo, pela dedicação e incentivo durante essa jornada.

Aos colegas, que apesar da distância, colaboraram para a realização dessa etapa de aprimoramento profissional.

A todos os funcionários da PECE-POLI que de alguma forma contribuíram para a realização do curso.

RESUMO

O trabalho objetivou uma avaliação da exposição ocupacional ao ruído em uma marmoraria utilizando a metodologia da Norma de Higiene Ocupacional de número um (NHO-01) da fundacentro e os limites de tolerância da Norma Regulamentadora de número quinze (NR-15) e da NHO-01. Foi utilizado um dosímetro pessoal da Marca 3M®, tendo sido realizadas 6 medidas de período parcial da jornada integral do exposto de maior risco (EMR). Resultados obtidos demonstram que para ambas as normas todos os parâmetros se encontram acima dos limites de tolerância, sendo o limite de confiança superior (LCS) igual a 91,9 dB(A) ou 262% da dose para a NR-15. Assim faz-se necessária a adoção de medidas de controle imediatas e a elaboração de um Programa de Conservação Auditiva (PCA).

Palavras-chave: Ruído. Avaliação. Programa de Conservação Auditiva.

ABSTRACT

The objective of this paper was to evaluate noise occupational exposure in a marble factory utilizing methodology of the Occupational Hygiene Standard NHO-01 from Fundacentro and the exposure limits from Regulatory Standard NR-15 and the NHO - 01. A 3M® brand personal dosimeter is used and six measurements taken of full period consecutive sample of the maximum risk employee (MRE). Results obtained demonstrate that for both standards all parameters are above the exposure limits, with the upper confidence limit (UCL) being equal to 91.9 dB(A) or 262% of the dose for the NR-15. Thus, it is necessary to adopt immediate control measures and a Hearing Conservation Program be establish.

Keywords: Noise. Evaluation. Hearing Conservation Program.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO.....	2
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1 FUNDAMENTOS DO SOM	3
2.1.1 Som	3
2.1.2 Ruído	4
2.1.3 Nível de Pressão Sonora - decibel	4
2.1.4 Adição de Níveis de Pressão Sonora.....	5
2.1.5 Sensação Sonora	6
2.1.6 Nível Equivalente.....	8
2.2 Limites de Tolerância	9
2.2.1 Dose	9
2.2.2 NR-15.....	10
2.2.3 NHO-01.....	11
2.3 Efeitos Auditivos e Não Auditivos.....	13
2.3.1 PAIR.....	13
2.3.2 Efeitos Não Auditivos do Ruído	14
2.4 Controle	14
2.4.1 Controle do Ruído no Ambiente de Trabalho	14
2.4.2 Controle de Ruído na Fonte.....	16
2.4.3 Controle de Ruído na Trajetória	17
2.4.4 Controle de Ruído no Receptor	18
2.4.5 Avaliação da Eficiência dos Protetores Auditivos no Ambiente de Trabalho	25
2.5 Estratégia de Amostragem.....	27
2.5.1 Caracterização Básica.....	28
2.5.2 Grupo de Exposição Similar (GES)	28
2.5.3 Exposto de Maior Risco	29
2.5.4 Estratégias de Medição de Exposição	30
2.5.5 Análise Estatística dos Resultados.....	32

3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1 Local.....	36
3.1.1 Descrição das Tarefas.....	38
3.1.2 Fontes Geradoras de Ruído.....	39
3.1.3 Grupo de Exposição Similar (GES) / Exposto de Maior Risco (EMR)	42
3.2 Equipamento de Medição.....	42
3.3 Estratégia de Amostragem	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A higiene ocupacional é definida como a ciência e a arte de antecipar, reconhecer, avaliar e controlar os riscos ocupacionais no ambiente de trabalho. Com a elevação da complexidade dos ambientes de trabalho nos dias de hoje, cada vez mais podemos encontrar exposições à riscos químicos, físicos e biológicos. (AIHA, 2006).

O ruído está presente na maioria das atividades industriais, tendo como exemplo as indústrias de caldeiraria, tecelagem, processamento químico, automobilística dentre outras tantas e em excesso pode provocar efeitos indesejáveis tanto na audição dos trabalhadores quanto nos chamados efeitos não auditivos. (SPINELLI et al, 2019).

A exposição em excesso ao ruído, seja pelo tempo, pela intensidade ou por ambos, acarretam danos à saúde. Comumente, essa exposição se relaciona com a perda permanente da audição, mas estudos comprovam que a exposição ao ruído pode provocar uma gama de efeitos relacionados ao *stress* como hipertensão, distúrbios do sono entre outros. (AIHA, 2006).

A variabilidade da suscetibilidade entre trabalhadores a desenvolver a perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR), pode provocar respostas completamente diferentes mesmo quando expostos a níveis equivalentes de ruído, não dependendo exclusivamente das características físicas do som. (NUDELMANN et al, 2001).

Sendo o objetivo principal dos programas de higiene ocupacional, avaliar com precisão, as exposições aos agentes nocivos no ambiente de trabalho, faz-se necessário quantificá-los com medições dessa exposição. Ainda, deve-se atentar aos erros aleatórios contidos em qualquer método utilizado para obtenção destes dados e utilizar ferramentas estatísticas para se obter resultados com certo nível de confiança. (NIOSH, 1977).

1.1 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é realizar uma pré-avaliação da exposição ao ruído ocupacional, de trabalhadores de uma marmoraria. Utilizando como diretriz a Norma de Higiene Ocupacional NHO-01 da FUNDACENTRO.

1.2 JUSTIFICATIVA

A exposição ao ruído ocupacional, em níveis elevados e ou de longa duração, pode ocasionar danos irreversíveis aos trabalhadores expostos, gerando uma perda de qualidade de vida e produtividade. Faz-se necessário estabelecer programas de controle deste agente que minimizem os danos causados aos trabalhadores e a sociedade.

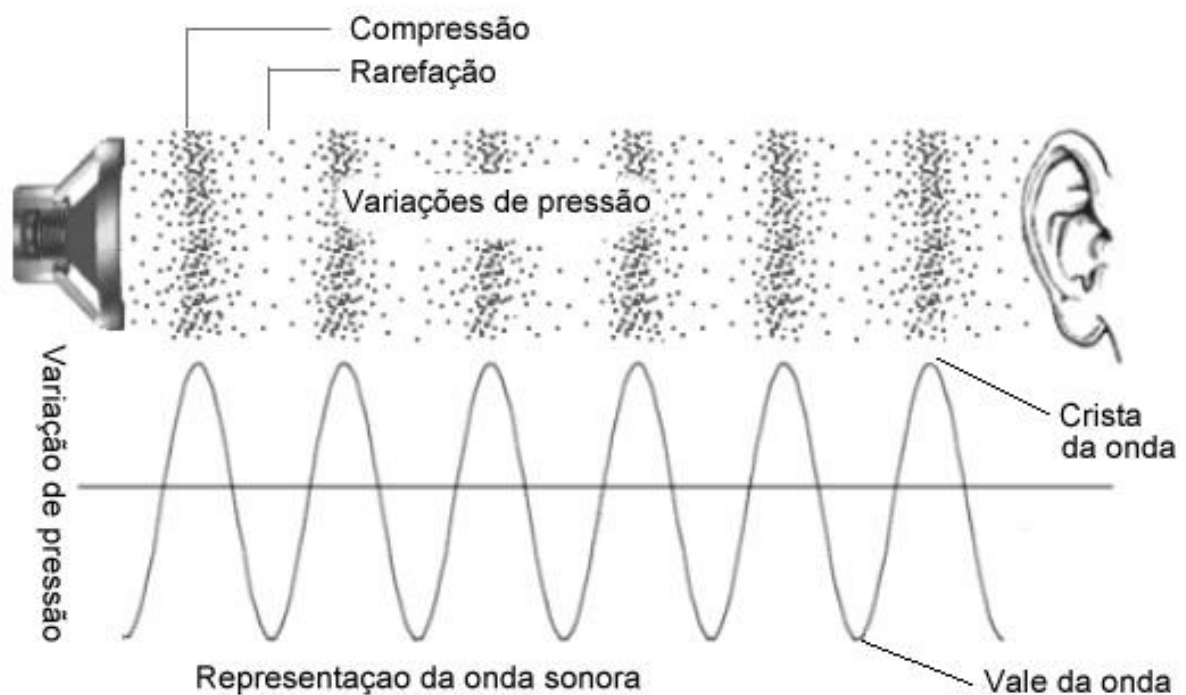
2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 FUNDAMENTOS DO SOM

2.1.1 Som

O som pode ser caracterizado por flutuações de pressão em um meio compressível. Contudo, não serão todas as flutuações que atingirão o ouvido humano e que produzirão a sensação de audição. Isso somente irá ocorrer quando a frequência e a amplitude dessas flutuações estiverem dentro de determinada faixa de valores. (GERGES,2000).

Figura 1 - Representação da variação da pressão sonora.



Fonte: Autor.

2.1.2 Ruído

O ruído é um tipo de som, mas não necessariamente todo som é um ruído, assim não são sinônimos. O ruído pode ser conceituado como um som desagradável e ou indesejável. Também pode ser definido como um som sem harmonia, uma vez que o julgamento da serventia de um som se torna subjetivo em relação ao contexto. (GERGES,2000); (BISTAFA, 2018).

2.1.3 Nível de Pressão Sonora - decibel

O ouvido humano pode responder a uma larga faixa de intensidade acústica, desde o limiar da audição até o limiar da dor. A pressão acústica irá variar de 0,00002 N/m² até 20000000 N/m², uma vez que a intensidade acústica varia com o quadrado da pressão acústica. Fica evidente a necessidade da utilização de uma escala logarítmica devido à dificuldade de se expressar em números ordens de grandeza tão diferentes em uma escala linear. (GERGES,2000).

O nível de intensidade acústica NI é dado por:

$$NI = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (1.1)$$

onde:

I – Intensidade acústica em Watts/m²

I_0 – Intensidade de referência = 10^{-12} Watts/m² (intensidade de um som levemente audível a 1000 Hz).

O nível de pressão sonora é dado por:

$$NPS = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (1.2)$$

onde:

P – Pressão acústica em N/m^2

P_0 – Pressão de referência = $0.00002 N/m^2$ (valor de referência e correspondente a limiar de audição a 1000 Hz).

O nível de potência sonora é dado por:

$$NWS = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (1.3)$$

onde:

W – Potência sonora em Watts

W_0 – Potência sonora de referência = 10^{-12} Watts (análogo a intensidade I_0 da equação 1.1).

2.1.4 Adição de Níveis de Pressão Sonora

O nível de pressão sonora, gerado por duas fontes diferentes, em um ponto de medição será correspondente a soma dos níveis de pressão sonora. Contudo, quando se usa o decibel como escala, não se pode somar os níveis diretamente, uma vez que

a escala não é linear. (GERGES,2000). Assim podemos usar a formula genérica para combinação de “n” níveis em dB:

$$L_n = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (1.4)$$

onde:

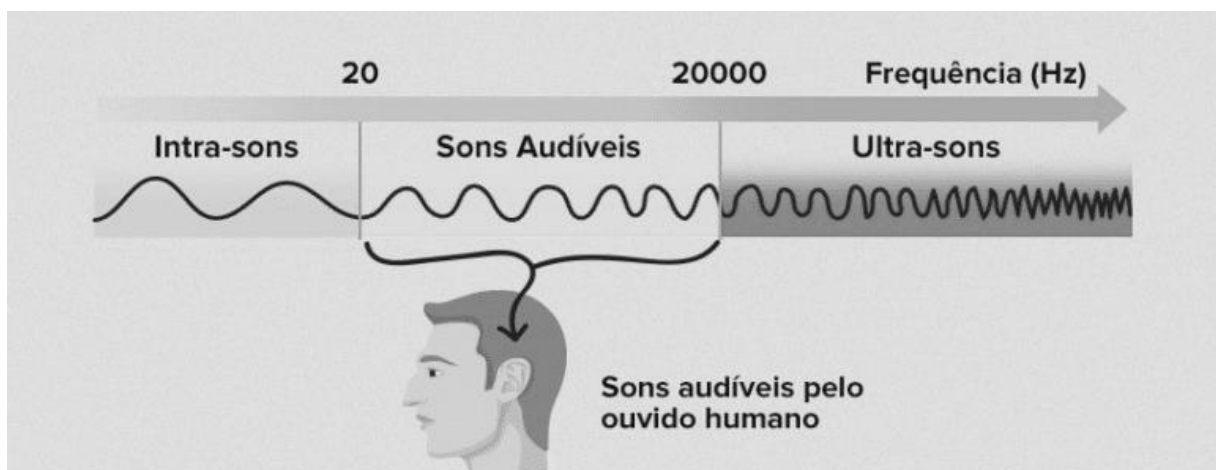
L_n - Nível de pressão sonora combinado de “n” níveis sonoros no mesmo ponto

L_i - Nível de pressão sonora “i”

2.1.5 Sensação Sonora

O sistema auditivo humano consegue detectar sons em uma larga faixa de frequência, que vai 20 Hz a 20000 Hz (faixa audível), sendo chamados de ultrassons os sons com frequência acima e infrassons aqueles com frequência abaixo. (BISTAFA, 2018).

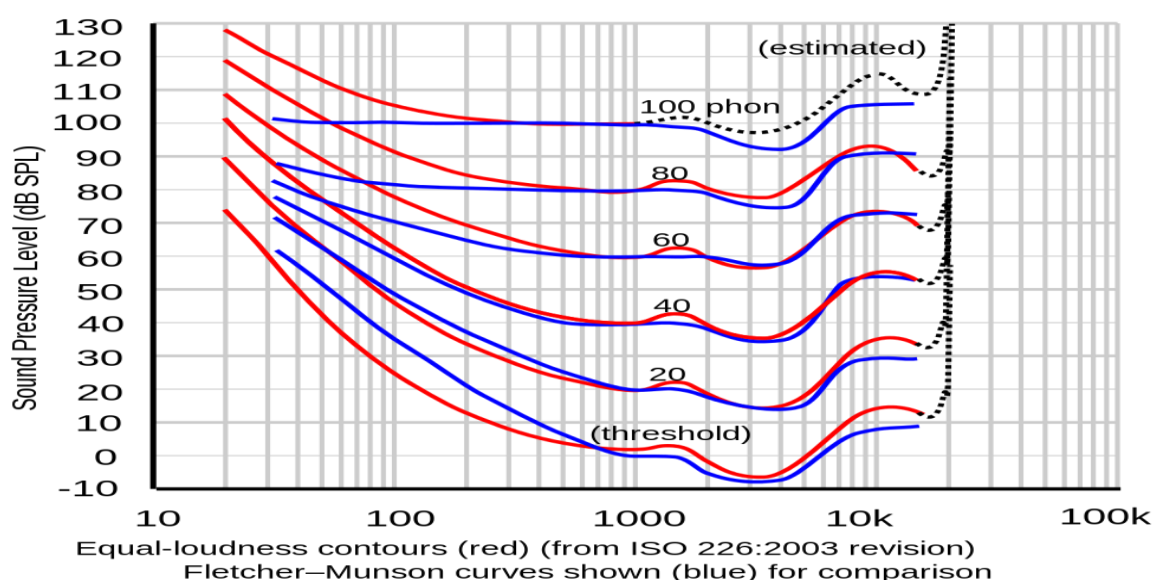
Figura 2 – Faixa de audível.



Fonte: Adaptado da Internet.

A audibilidade subjetiva de um som é determinada por fatores muito complexos e ainda ocorrem muitas pesquisas nessa área. O ouvido humano não é sensível a todas as faixas de frequência de maneira linear, sendo mais sensível na faixa de 2 kHz a 5 kHz e menos para frequências muito altas ou baixas. Fenômeno este, pronunciado em baixos níveis de pressão sonora. (GERGES, 2000).

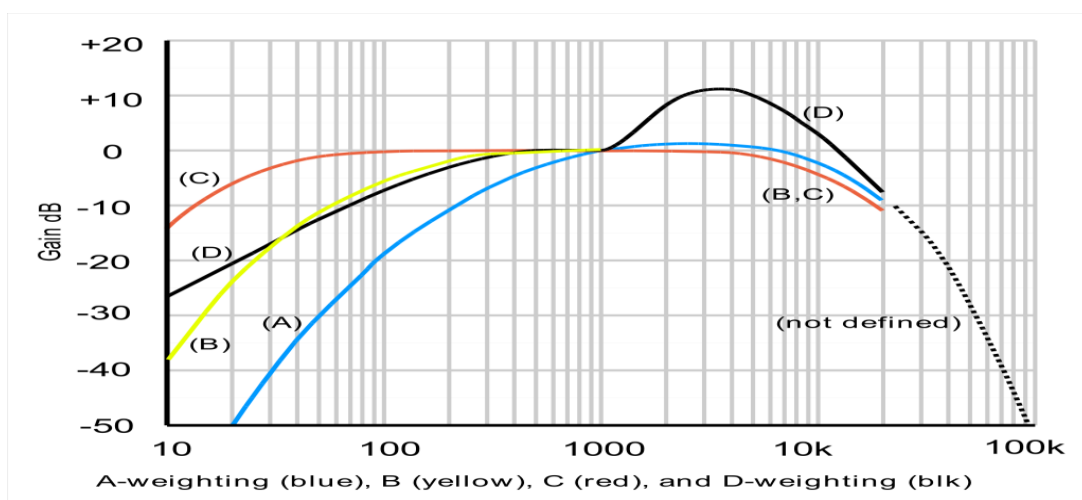
Figura 3 – Curvas de mesmo nível de audibilidade para tons puros.



Fonte: Adaptada da ISO 226:2003.

Os primeiros experimentos foram realizados por Fletcher e Munson, curvas em azul na Figura 3, em 1933 utilizando ouvintes treinados de forma a comparar a intensidade de tons puros em determinadas frequências com tom puro em 1000 Hz a um nível sonoro conhecido. As curvas atuais, em vermelho, são denominadas *isoaudíveis* ou *isofônicas* e foram normalizadas pela *International Organization for Standardization – ISO*. (BISTAFA, 2018).

Figura 4 – Função de transferência dos filtros A, B, C e D.



Fonte: Autor.

Filtros ponderadores são utilizados, em aparelhos eletrônicos de medição, de maneira a modificar o espectro sonoro e se aproximar da resposta do sistema auditivo humano. Sendo padronizados e denominados de A, B, C e D, conforme figura 4. O filtro A se aproxima da curva de igual audibilidade para baixos níveis de pressão sonora, sendo o inverso da curva de 40 *phones*, figura 3. Os filtros B e C, são análogos ao filtro A, porem para médios e altos níveis de pressão sonora. Atualmente o filtro A é largamente utilizado em medições de ruído em detrimento dos filtros B e C, por não apresentarem boa correlação em testes subjetivos. O filtro D foi padronizado para medições em aeroportos. (GERGES,2000); (BISTAFA, 2018).

2.1.6 Nível Equivalente

A capacidade de causar danos de um determinado ruído depende do nível e de sua duração. Pode-se estabelecer um valor único de L_{eq} , como o nível médio integrado durante um intervalo de tempo sendo o cálculo baseado na energia do ruído. (GERGES, 2000).

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \quad (1.5)$$

onde:

T é o tempo de integração

$P(t)$ é a pressão acústica instantânea

P_0 é a pressão acústica de referencia

L_{eq} representa o nível contínuo equivalente

Assim pode-se definir o nível equivalente como sendo o valor estacionário que iria gerar a mesma energia, que os eventos sonoros, durante o intervalo de tempo do registro. (BISTAFA,2018).

2.2 LIMITES DE TOLERÂNCIA

2.2.1 Dose

Segundo definição da NHO-01, a *Dose* é um parâmetro utilizado de forma a caracterizar a exposição ocupacional ao agente ruído, e deve ser expresso em porcentagem, assumindo como referência o tempo máximo admitido para um específico nível de energia sonora diária, que é definido em parâmetros preestabelecidos. O Incremento de Duplicação de Dose (q), que corresponde ao valor em decibéis no qual duplica a dose, o critério de referência (CR), sendo nível médio para o qual a exposição por um período de 8 horas equivalera a uma dose de 100% e o *Nível Limiar de Integração (NLI)*, valor a partir do qual devem ser computados na integração para determinação da dose de exposição.

Assim para a NR-15 o valor da Dose seria dado por:

$$D = \frac{T_E}{480} \times 100 \times 2^{\left(\frac{NE-85}{5}\right)} \quad (1.6)$$

onde:

NE – Nível de exposição

D – Dose diária de ruído em porcentagem

T_E – Tempo em minutos, da jornada diária de trabalho

Analogamente, para NHO-01 o valor da Dose:

$$D = \frac{T_E}{480} \times 100 \times 2^{\left(\frac{NE-85}{3}\right)} \quad (1.7)$$

onde:

NE – Nível de exposição

D – Dose diária de ruído em porcentagem

T_E – Tempo em minutos, da jornada diária de trabalho

2.2.2 NR-15

No Brasil os limites de tolerância são estabelecidos pela portaria 3.214 de 08/06/1978, Norma Regulamentadora de número 15, Anexos I e II. Estes valores, conforme Quadro 1, foram baseados nos TLV 's da *ACGIH* do ano de 1978. Sendo a dose permitida para uma jornada de 8 horas de trabalho, 85dB (A). Importante ressaltar que o incremento de duplicação (q) é igual a 5. Segundo, a mesma norma, “entende-se

como ruído contínuo ou intermitente, para fins de aplicação dos limites de tolerância, o ruído que não seja o ruído de impacto”. O ruído de impacto pode ser definido como, aquele que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1(um) segundo, com intervalos superiores a 1(um) segundo. O limite de tolerância para o ruído de impacto será 130dB linear, para dosímetro que possua circuito de resposta para impacto ou 120 dB (C) para circuito de compensação C, para equipamentos que não possuam. Importante ressaltar que o circuito de resposta rápida (*fast*), deve ser usado para medição de ruído de impacto, diferentemente do ruído contínuo ou intermitente no qual deve ser usado o circuito de resposta lenta (*slow*). O nível de ação conforme a NR-9, item 9.3.6.2 alínea b será de 50% da dose.

Quadro 1 – Limites de exposição para ruído contínuo ou intermitente

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

Fonte: Anexo I Norma Regulamentadora 15

2.2.3 NHO-01

De forma mais atualizada, a Norma de Higiene Ocupacional de número 1 da FUNDACENTRO, adota os valores atuais da *ACGIH*, com uma dose permitida de 85dB (A) para uma jornada de 8 horas de trabalho. Contudo, deve-se observar que o incremento de duplicação (q) é 3 e o limiar de integração 80dB (A), fazendo com que os limites de tolerância sejam bem menos permissíveis. O nível de ação para exposição ocupacional ao ruído é de dose diária igual a 50%.

Quadro 2 – Tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído

NÍVEL DE RUÍDO DB (A)	TEMPO MÁXIMO DIÁRIO PERMISSÍVEL (T_n) (minutos)
80	1.523,90
81	1.209,52
82	960,00
83	761,95
84	604,76
85	480,00
86	380,97
87	302,38
88	240,00
89	190,48
90	151,19
91	120,00
92	95,24
93	75,59
94	60,00
95	47,62
96	37,79
97	30,00
98	23,81
99	18,89
100	15,00
101	11,90
102	9,44
103	7,50
104	5,95
105	4,72
106	3,75
107	2,97
108	2,36
109	1,87
110	1,48
111	1,18

112	0,93
113	0,74
114	0,59
115	0,46

Fonte: NHO-01 FUNDACENTRO.

2.3 EFEITOS AUDITIVOS E NÃO AUDITIVOS

2.3.1 PAIR

A perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR) quando relacionada ao trabalho, é uma lesão neurosensorial, de caráter insidioso, em geral bilateral e simétrica. Uma vez instalada é irreversível, manifestando-se principalmente nas frequências de 3, 4 e 6 *kHz*, podendo se estender às frequências de 0.25, 0.5, 1, 2 e 8 *kHz* com o agravamento da lesão. Por ser uma doença predominantemente coclear, pode apresentar no seu portador, intolerância a zumbidos e sons de maior intensidade, trazendo comprometimento na inteligibilidade da fala e com isso prejuízo na comunicação. A instalação da doença é, principalmente, influenciada pelo tipo, espectro e intensidade sonora do ruído, assim como pelo tempo de exposição e susceptibilidade individual, tendo seu nível máximo nos primeiros 10 a 15 anos de exposição. Uma vez cessada a exposição ao ruído, não deve haver progressão da doença e o trabalhador acometido não será mais sensível a exposições futuras, pois ocorre um aumento dos limiares tornando a progressão mais lenta. (Costa *et al*, 2006). A perda de audição induzida pelo ruído relacionada ao trabalho pode ser denominada como perda de audição induzida por ruído ocupacional (PAIRO), porem essa expressão se torna inadequada para caracterizar algumas ocupações, como por exemplo, músicos e radialistas que estão expostos a elevados níveis de pressão sonora, mas não necessariamente ruído. A Ordem de Serviço 608 do INSS, de 05/08/1998, define a perda auditiva neurosensorial por exposição continuada a níveis elevados de pressão sonora (PAINPSE), como uma expressão mais adequada. (BISTAFA, 2018).

2.3.2 Efeitos Não Auditivos do Ruído

Apesar de não haver consenso entre os autores, já é largamente difundida a ideia de que a exposição ao ruído ocasione efeitos não auditivos, suspeitando-se que estes se manifestem na função cardiovascular com variações da pressão sanguínea e de batimentos cardíacos, bem como hipertensão e por consequência provocando distúrbios respiratórios e perturbações na saúde mental e física dos trabalhadores. Os efeitos são classificados como de desempenho e fisiológicos, podendo ser este último de ordem temporária ou permanente. Assim, estes efeitos são muito parecidos com outros tipos de *stress*, ocasionando tensões musculares como instrumento de defesa, reflexos respiratórios, alteração de batimentos cardíacos e alterações nos diâmetros dos vasos sanguíneos especialmente na parte periférica do corpo, alterando não somente o ambiente de trabalho mas a vida fora dele, interferindo em atividades comuns do dia a dia como o sono, a comunicação e concentração, causando impactos psicológicos que podem afetar a saúde mental do trabalhador e da família. (BISTAFA,2018).

2.4 CONTROLE

2.4.1 Controle do ruído no ambiente de trabalho

O controle de ruído deve ser abordado como um problema a ser resolvido de forma multidisciplinar e envolve aspectos culturais, médicos, legais, psicológicos, econômicos e operacionais. Como regra, todo problema relacionado ao ruído envolve

uma ou mais fontes sonoras, a trajetória de transmissão e o receptor, que geralmente é o ser humano. (BISTAFA, 2018).

Segundo, *The National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)*, o controle das exposições aos riscos ocupacionais é fundamental para proteger os trabalhadores e tradicionalmente vem sido adotada uma hierarquia de controles como forma de determinar como serão implementadas as formas de controle de maneira viável e efetiva.

Figura 5 – Hierarquia de Controles



Fonte: Adaptada NIOSH.

Conforme podemos observar na Figura 5, a medida mais eficaz para o controle do ruído está na fonte, ou seja, eliminar ou diminuir a emissão de ruído na origem. Contudo, na maioria das situações, o problema fica evidente somente após a instalação da fonte geradora, ficando inviável a troca da fonte por uma menos ruidosa. Assim, o controle de ruído, normalmente irá atuar na trajetória de transmissão, onde soluções comumente aplicadas incluem o enclausuramento ou a instalação de barreiras acústicas, bem como o uso de silenciadores. Por fim, como última alternativa e geralmente como medida emergencial, o uso dos equipamentos de proteção individual (EPI). Ambientes industriais geralmente apresentam soluções nas três

frentes, de forma a se ter uma solução economicamente balanceada. (BISTAFA, 2018).

2.4.2 Controle de Ruído na Fonte

As pessoas envolvidas na engenharia de controle de ruído, devem ter conhecimentos sólidos de acústica aplicada, controle e isolamento de choques e vibrações e sobre as causas de ruídos em máquinas e equipamentos. Preferencialmente também devem possuir domínio sobre as técnicas em instrumentação para análise e medição de ruído e vibração, de forma a analisar os dados coletados. O apoio e cooperação dos serviços de manutenção, engenharia de projetos, operação e pessoal administrativo também colaboram para eficácia das medidas de controle. (GERGES, 2000).

O controle de ruído na fonte, propriamente dito, envolve geralmente modificações em máquinas e equipamentos ou alteração de processos, sendo necessário conhecer a forma de como o som é produzido. Os principais mecanismos de geração de ruído em máquinas e equipamentos envolve a geração por forças de impacto e irradiação sonora estrutural, geração pelos movimentos dos fluidos e a elasticidade de metais que geralmente é o material de composição dos elementos de máquinas envolvidos na geração do ruído. (BISTAFA, 2018).

Apesar de os fundamentos de acústica aplicada já serem bem conhecidos no controle de ruído e possuírem avançado desenvolvimento, fazendo com que os princípios das soluções de casos típicos sejam óbvios, deve-se entender que cada caso específico requer tratamento diferenciado sendo necessário profundo conhecimento do funcionamento das máquinas e equipamentos e dos processos envolvidos. O conhecimento da potência sonora das máquinas é essencial no cálculo dos projetos de controle e podem ser obtidos através do espectro de potência sonora fornecido pelos fabricantes ou medidos diretamente do equipamento em questão. (GERGES, 2000).

2.4.3 Controle de Ruído na Trajetória

Sendo considerada como a segunda alternativa quando se fala em eficácia para o controle de ruído, uma vez que normalmente os problemas com ruído acabam não sendo antecipados na fase de projeto, resta ao responsável atuar na trajetória de transmissão. Métodos frequentemente utilizados irão desde aumento da distância entre o trabalhador e a fonte até o enclausuramento das fontes e segregação dos ambientes mais ruidosos. (BISTAFA, 2018)

Como a intensidade sonora é inversamente proporcional ao quadrado da distância, uma técnica elementar seria aumentar a distância entre a fonte e o trabalhador, porem esta abordagem se torna mais viável em ambientes ao ar-livre. Para ambientes fechados, tipicamente industriais, adicionalmente a segregação de ambientes e ou o enclausuramento das fontes se torna necessário para obtenção dos objetivos. Existem duas medidas de eficácia para o controle de ruído na trajetória, a redução de ruído (*"noise reduction", NR*) e a perda na inserção (*"insertion loss", IR*). (BISTAFA, 2018).

O enclausuramento de uma fonte de ruído consiste em um ambiente fechado, geralmente feito em aço, madeira ou alvenaria e encobre completamente a fonte. Podem ser classificados de acordo com a menor distância entre a fonte e as superfícies internas (l), sendo enclausuramento amplo quando essa distância for maior ou igual ao comprimento de onda ($l \geq \lambda$), fazendo com que o campo acústico possa ser considerado difuso. Quando a distância (l) for menor que o comprimento de onda temos o enclausuramento compacto e assim o campo acústico é considerado reativo, sem propagação de ondas, apenas com a vibração do ar. A eficiência e o comportamento de um enclausuramento são dependentes da energia absorvida pelos materiais de revestimento, das perdas de transmissão referentes aos tipos de paredes adotadas e do número de aberturas necessários para inspeção ou ventilação do ambiente. (GERGES, 2000).

2.4.4 Controle de Ruído no Receptor

Devendo ser usada de forma emergencial, enquanto demais medidas de controle com maior eficácia são planejadas ou projetadas, o controle de ruído no trabalhador pode ser feito através da utilização de protetores auriculares, sendo este um método muito comum e prático na redução do ruído a níveis aceitáveis. Importante ressaltar que devem ser utilizadas técnicas adequadas para seleção, uso e manutenção dos equipamentos de proteção individual. Um programa de conservação de audição (PCA) deve ser elaborado por profissionais habilitados e capacitados, de forma a contemplar desde o mapeamento de ruído, zonas de maior risco, medidas de controle, seleção dos protetores auriculares, treinamento dos trabalhadores expostos e monitoramento audiométrico. (GERGES, 2000).

Segundo a Norma Regulamentadora de número 6 (NR-6) “a empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, EPI adequado ao risco e em perfeito estado de conservação e funcionamento...”. Com relação a proteção auditiva a mesma norma determina, protetores auriculares, para trabalhos realizados em locais em que o nível de ruído seja superior aos limites estabelecido na Norma Regulamentadora de número 15 (NR-15), Anexos I e II.

2.4.4.1 Tipos de Protetores Auriculares

No mercado atualmente existem diversos tipos, marcas e modelos de protetores auriculares, sendo divididos em protetores de inserção e do tipo concha, conforme figura 6. Os protetores de inserção podem ser auto moldáveis ou pré-moldados, sendo os primeiros feitos de algodão parafinado, espuma plástica ou tipos especiais de fibra de vidro, já os pré-moldados são geralmente feitos de material elástico de forma a se adaptar a anatomia do canal auditivo. (GERGES, 2020).

Figura 6 – Tipos de Protetores Auriculares



Fonte: Adaptado 3M

2.4.4.2 Seleção do Protetor Auricular

A seleção correta do protetor auricular, deve levar em consideração uma série de fatores, sendo os parâmetros mais importantes o conforto e a aceitação do usuário. Contudo os equipamentos de proteção auricular devem possuir, Certificado de Aprovação (CA), fornecer a atenuação necessária de ruído, ser apropriado ao tipo de trabalho a ser desempenhado, levar em conta distúrbios médicos associados ao uso e ter compatibilidade com outros EPI's utilizados na funções e tarefas específicas. Dentro das possibilidades técnicas e econômicas, uma maneira prática de selecionar seria colocar à disposição do trabalhador vários tipos de protetor que atendam os objetivos e o mesmo irá decidir qual melhor se adapta. (GERGES, 2020).

2.4.4.3 Nível de Redução do Ruído (NRR)

O NRR segue recomendações da *NIOSH* (1975), pode ser calculado para dados de ensaio da norma ANSI S3.19/1974 e S12.6/1984 (ANSI S12.6/2016). Em um ambiente de ruído padrão, conhecido como ruído rosa, com 100 dB em cada banda de frequência e subtraindo duas vezes o desvio padrão das atenuações. Ainda como fator de segurança é subtraído do valor final 3 dB. (GERGES, 2020).

Quadro 3 –Formato de cálculo do NRR

Frequências Centrais (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k	8k
(a) Níveis de banda de oitava em dB(A) de um ruído rosa, 100 dB por banda	83,9	91,4	96,8	100	101,2	101	98,9
(b) Atenuação media						*	**
(c) 2 σ (dois desvios padrão)						*	**
(d) Níveis em dB(A) com o uso do protetor auditivo $d=a-b+c$							
(e) Nível global, com protetor, em dB(A) = soma dos níveis do (d)							
(f) $NRR = 107,9^{***} - (\text{nível global calculado em e}) - 3,0^{****}$ dB							
* Média aritmética dos dados de 3150 Hz e 4000 Hz							
** Média aritmética dos dados de 6300 Hz e 8000 Hz							
*** Nível global em dB(C), do ruído rosa de 100 dB/banda – soma logaritmo da linha (a)							
**** Fator de segurança para evitar superestimação da proteção							

Fonte: GERGES, Samir N. Y. (2020)

Quadro 4 – Exemplo de cálculo do NRR

Frequências Centrais (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k	8k
(a) Níveis de banda de oitava em dB(A) de um ruído rosa, 100 dB por banda	83,9	91,4	96,8	100	101,2	101	98,9
(b) Atenuação media	13	13	18	27	30	41,5	38,5
(c) 2 σ (dois desvios padrão)	4,8	3,6	6	6,8	6	9	14,6
(d) Níveis em dB(A) com o uso do protetor auditivo $d=a-b+c$	75,7	82	84,8	79,8	77,2	68,5	75
(e) Nível global, com protetor, em dB(A) = 88,3 dB(A) - soma logaritmo da linha (d)							
(f) $NRR = 107,9^{***} - (\text{nível global calculado em e}) - 3,0$ dB = 16,6 = 17							

Fonte: GERGES, Samir N. Y. (2020)

2.4.4.4 SNR – “Single Number Rating”

Calculado de acordo a norma ISO 4869-2, o SNR é similar ao NRR com diferença em dois parâmetros, a porcentagem da população protegida e a ausência do fator de

segurança. (GERGES, 2020). Na Quadro 5, podemos observar o valor do multiplicador do desvio padrão para diferentes níveis de proteção.

Quadro 5 – Valores de “a” para vários níveis de proteção

Nível de Proteção [%]	“a”
75	0,67
80	0,84
84	1,00
85	1,04
90	1,28
95	1,64
98	2,00

Fonte: GERGES, Samir N. Y. (2020)

O valor utilizado para multiplicação vem indicado no nível de proteção, SNR_{84} , assim sabemos que o valor de “a=1” foi utilizado no cálculo. A seguir podemos ver um exemplo nas Quadros 6 e 7.

Quadro 6 – Cálculo dos valores assumidos de proteção “ $APV_{f_{84}}$ ”

Frequência (Hz)		125	250	500	1k	2k	4k	8k
Linha 1	Atenuação media (mf)	17,9	19,0	21,0	24,7	29,9	35,6	34,6
Linha 2	Desvio padrão (sf)	7,3	6,3	7,3	6,4	5,3	5,0	5,4
Linha 3	$a \cdot sf(a=1,0)$	7,3	6,3	7,3	6,4	5,3	5,0	5,4
Linha 4	$APV_{f_{84}} = mf - a \cdot sf$	10,6	12,7	13,7	18,3	24,6	30,6	29,2

Fonte: GERGES, Samir N. Y. (2020)

Primeiramente se calcula os valores assumidos de proteção (APV, *assumed protection values*), conforme Quadro 6. A seguir é feita a correção do valor que foi tomado como base (ruído rosa com nível de pressão sonora de 100dB(C)) para a escala A, conforme a linha 3 da Quadro 7 (Laf(k)).

Quadro 7 – Cálculo da diferença entre Laf(k) “APVf₈₄”

Frequência (Hz)		125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Linha 1	Ruído Rosa	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	100 dB(C)
Linha 2	Correção para escala A	-16,1	8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
Linha 3	Laf(k)=Linha1-Linha2	75,4	82,9	88,3	91,5	92,7	92,5	90,4	98,5 dB(A)
Linha 4	APVf ₈₄ (Quadro 6)	10,6	12,7	13,7	18,3	24,6	30,6	29,2	
Linha 5	Laf(k)- APVf ₈₄	64,8	70,2	74,6	73,2	68,1	61,9	61,2	78,6

Fonte: GERGES, Samir N. Y. (2020)

Assim podemos calcular, conforme a equação abaixo o valor de SNR₈₄:

$$SNR_{84} = 100 \text{ dB} - 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (1.8)$$

Teremos $SNR_{84} = 100 - 78,6 = 21,4 \text{ dB}$.

2.4.4.5 Nível de Redução de Ruído “*subject fit*” (NRR_{sf})

Segundo a norma ANSI S12.6:2016, existem dois métodos para o cálculo do NRR_{sf}, sendo o método A que era chamado de “*experimented-supervised fit*” e agora chamado de “*trained subject fit*”, realizado com indivíduos treinados e motivados, assim acredita-se que possa descrever o mais próximo possível de um ajuste otimizado. O método B por sua vez que era chamado de “*subject fit*” e agora chamado de “*inexperienced-subject fit*”, utiliza indivíduos não treinados de forma a obter resultados os mais próximos possíveis para um grupo de trabalhadores em um programa de conservação da audição.

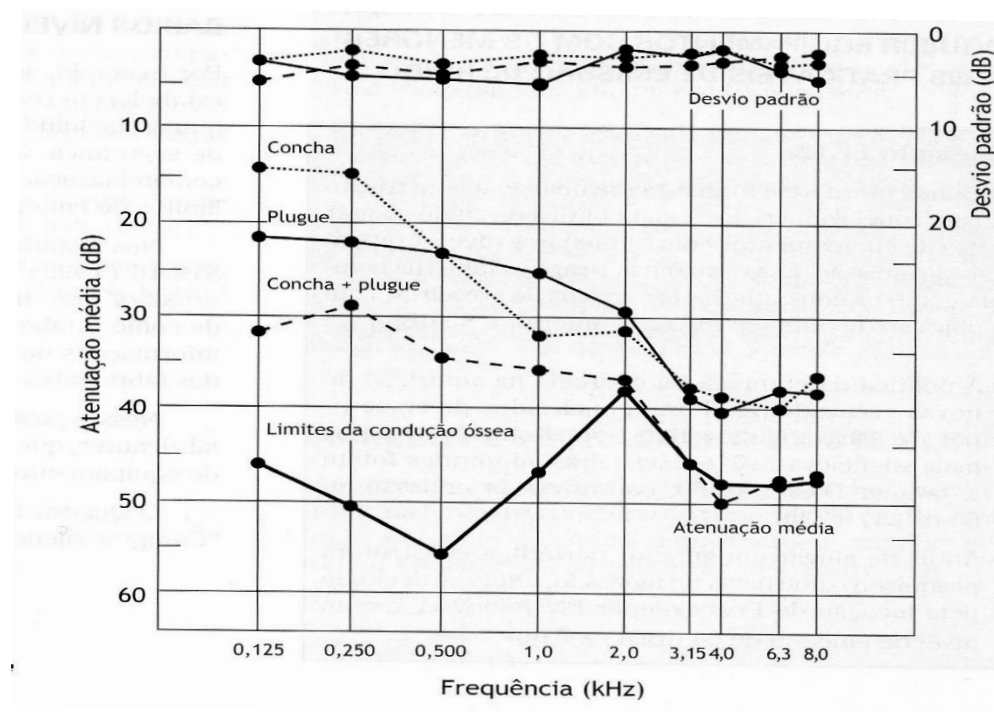
Apesar indivíduos treinados e comprometidos poderem obter resultados superiores ao método B, e até potencialmente melhores que o método A, para a maioria dos indivíduos o método B será uma previsão mais precisa que o método A. (ANSI S12.6/2016).

O NRR_{sf} é calculado baseado no SNR₈₄, para um nível de proteção de 84%, com o uso do multiplicador igual a um ($a=1$), conforme visto anteriormente. (GERGES, 2020).

2.4.4.6 Uso simultâneo de tampão e concha

Quando o nível de pressão sonora do ambiente atinge níveis elevados, de maneira que um simples tipo de protetor não se torna suficiente para se atingir o objetivo desejado, o uso combinado aparece com uma solução viável. Contudo a atenuação não será a soma algébrica das atenuações dos protetores em separado. A figura 7, demonstra resultados experimentais da atenuação média e do desvio padrão, em função da frequência, de um tampão e concha usados separadamente e simultaneamente. (BISTAFA, 2018).

Figura 7 – Atenuação e desvio padrão em função da frequência para uso simultâneo

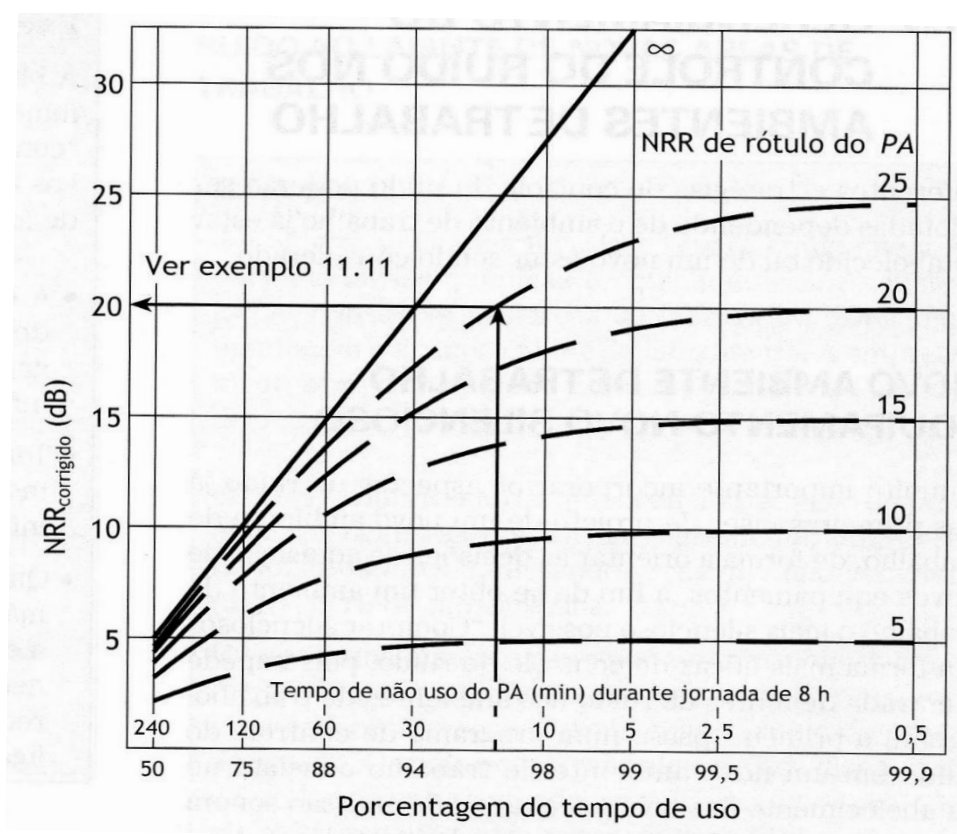


Fonte: BISTAFA, Sylvio R. (2018)

2.4.4.7 Tempo de uso do protetor auricular

A não utilização do protetor auricular, mesmo que por tempo reduzido, durante a jornada de trabalho não pode ser desconsiderada. Uma vez que o trabalhador não utilize o equipamento de proteção individual durante 100% do tempo de exposição ao ruído, reduzirá a eficácia do EPI. A figura 8 demonstra o $NRR_{\text{corrigido}}$, em função do tempo efetivo de uso. (BISTAFA, 2018)

Figura 8 – $NRR_{\text{corrigido}}$ versus porcentagem do tempo efetivo de uso



Fonte: BISTAFA, Sylvio R. (2018)

2.4.5 Avaliação da Eficiência dos Protetores Auditivos no Ambiente de Trabalho

Existem diversos procedimentos para se avaliar o nível de pressão sonora no ouvido com o uso do protetor auricular. Sendo os métodos principais o método longo e o método simplificado. Deve-se preferencialmente, na medida das possibilidades, optar pelo método longo. Porém o equipamento deve possuir filtro para bandas de oitava, o que não acontece na maioria dos audiodosímetros portáteis. (GERGES, 2020).

2.4.5.1 Método Longo

O método longo fornece os níveis de pressão sonora em dB(A) nas bandas de frequência que vai desde 125 Hz até 8KHz, bem como o nível total protegido e a atenuação total fornecido por um específico protetor auricular no ambiente de trabalho. Segue Quadro 8 que ilustra a metodologia de cálculo:

Quadro 8 – Cálculo do nível de pressão sonora com o ouvido protegido

Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k	8k
1- NPS	83,9	93,4	101,8	106,0	102,2	97,0	88,9
2- Atenuação média	14,0	19,0	31,0	36,0	37,0	48,0	40,0
3 – Desvio padrão (σ)	5,0	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0	8,0
4- Atenuação - 2σ	4,0	7,0	19,0	22,0	23,0	34,0	24,0
5- NPS com proteção de 98% de confiança (1-4)	79,9	86,4	82,8	84,0	79,2	63,0	64,9

Fonte: GERGES, Samir N. Y. (2020)

A soma logarítmica dos valores da linha 1 é 109 dB(A), correspondente ao nível de pressão sonora total antes do uso do protetor auricular. Os valores das atenuações medias (linha 2) e os desvios padrão (linha 3) são dados fornecidos pelo fabricante ou obtidos em ensaio normalizado em laboratório credenciado. Para um nível de confiabilidade de 98% conforme visto no cálculo do SNR, temos o multiplicador igual a dois ($a=2$), assim obtemos os valores da linha 4. Os valores atenuados do nível de pressão sonora vêm da diferença das linhas um e quatro (linha 5) e sua soma

logarítmica é o nível de pressão sonora no ouvido com uso do protetor auricular em questão, sendo igual a 90,3 dB(A). Assim a diferença entre o nível total de pressão sonora sem proteção menos o nível de pressão sonora com proteção, corresponde, para a situação específica, a atenuação esperada com um nível de confiança de 98% ($109,0 - 90,3 = 18,7$ dB(A)). (GERGES, 2020).

2.4.5.2 Método Simples

O método simples utiliza os números únicos para representar a atenuação do protetor auditivo, NRR, NRR_{sf} , SNR.

2.4.5.2.1 Nível de Redução de Ruído (NRR)

Segundo o *NIOSH*, os valores de NRR fornecidos pelos fabricantes deveriam ser reduzidos conforme o tipo de protetor utilizado, sendo o tipo concha multiplicado por 0,75, o tipo plug moldável por 0,5 e o tipo plug não moldável por 0,3. O NRR reduzido para o cálculo do nível de pressão sonora protegido NPS_c dB(A) com uso do protetor auditivo, NPS_s , submetido a escala C ou escala A, conforme equações 1.9 e 1.10. (GERGES, 2003).

$$NPS_c (dBA) = NPS_s(dBC) - NRR \quad (1.9)$$

$$NPS_c (dBA) = NPS_s(dBA) - (NRR - 7) \quad (1.10)$$

2.4.5.2.2 Nível de Redução de Ruído “*subject fit*” (NRR_{sf})

Analogamente ao NRR, o NRR_{sf} pode ser usado para cálculo do nível de pressão sonora protegido, NPS_c dB(A) com uso do protetor auditivo, NPS_s , submetido a escala C ou escala A, conforme equações 1.11 e 1.12. (GERGES, 2003).

$$NPS_c (dBA) = NPS_s(dBA) - NRR_{sf} \quad (1.11)$$

$$NPS_c (dBA) = NPS_s(dBC) - (NRR_{sf} + 5) \quad (1.12)$$

2.4.5.2.3 Número simples de avaliação (SNR)

O SNR é usado para o cálculo do nível de pressão sonora protegido, conforme equação (1.13).

$$NPS_{protegido} (dBA) = NPS_{ambiente}(dBC) - SNR_{84} \quad (1.13)$$

O cálculo acima é igual ou menor para 84% dos casos. (GERGES, 2020).

2.5 ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM

Segundo a *American Industrial Hygiene Association (AIHA)*, a higiene ocupacional é definida como a “arte e a ciência de antecipar, reconhecer, avaliar e controlar os riscos

ocupacionais no ambiente de trabalho”. A complexidade atual dos ambientes de trabalho traz uma infinidade de riscos químicos, físicos e biológicos crescentes e, de maneira ao profissional estar apto a desenvolver de forma satisfatória seu papel de proteger a saúde física e mental dos trabalhadores expostos, faz-se necessário o uso de técnicas e estratégias de forma a se atingir os objetivos necessários.

Medidas quantitativas validas da exposição dos trabalhadores são preponderantes para uma avaliação adequada do profissional de higiene. O uso de estratégias e de procedimentos de análise estatística dos dados, se tornam ferramentas essenciais para o correto desenvolvimento dos programas de higiene ocupacional. (NIOSH, 1977).

2.5.1 Caracterização Básica

A caracterização básica consiste na coleta e organização das informações necessárias para a caracterização do ambiente de trabalho, definindo quais processos, matérias primas, tarefas e controles estão presentes, de maneira a se estabelecer um panorama das condições de exposição dos trabalhadores. (AIHA, 2006).

2.5.2 Grupo de Exposição Similar (GES)

O grupo de exposição similar pode ser definido como “um grupo de trabalhadores que possuem o mesmo perfil geral de exposição para um determinado agente pela similaridade e frequência das tarefas realizadas, similaridade dos materiais e processos utilizados e pela similaridade da maneira em que as tarefas são realizadas”. Essa estratégia de agrupar trabalhadores de acordo com a similaridade de exposição, oferece uma série de vantagens para o higienista, fazendo com que a caracterização, seja qualitativa ou quantitativa, das exposições de um ou de alguns trabalhadores possa ser considerada representativa para todo o GES. Assim ficando claro os

benefícios de ordem econômica e de pessoal, uma vez que o monitoramento irá demandar menos recursos. (AIHA, 2006).

A determinação do GES pode ser feita de maneira qualitativa, onde a experiência e o conhecimento do higienista sobre os processos envolvidos são de suma importância para o sucesso, ou de maneira quantitativa, onde são feitas uma série de medições ou uso de dados prévios para a caracterização do GES. A segunda opção mostra uma clara vantagem por ser baseada em dados quantitativos, sendo mais objetiva. Contudo, se os dados não estão disponíveis, e deve-se realizar as medidas quantitativas, prefere-se adotar a observação devido aos custos envolvidos e otimização de recursos. (USP, 2021).

2.5.3 Exposto de Maior Risco

Segundo a NIOSH, regulamentos de saúde propostos pela *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*, exigem que uma vez identificada a possibilidade de exposição dos trabalhadores acima do nível de ação, aconteça a avaliação do trabalhador que se acredita que possua o maior nível de exposição. Assim surge o conceito do “empregado com maior risco” ou exposto de maior risco. (NIOSH, 1977). A caracterização e determinação do exposto de maior risco pode ser feito por julgamento profissional, ou seja, através de observações de campo o profissional de higiene, que deve possuir conhecimento avançado das tarefas e processos envolvidos em combinação com experiência, julga qualitativamente qual funcionário ou função representaria o EMR. Algumas características que ajudam a identificar o EMR incluem exercer suas atividades mais próximo da fonte do agente, em região do ambiente onde ocorre maior concentração ou intensidade do agente, de maneira a se expor por mais tempo ao agente e ou exercer as rotinas operacionais de forma a se expor mais ao agente.

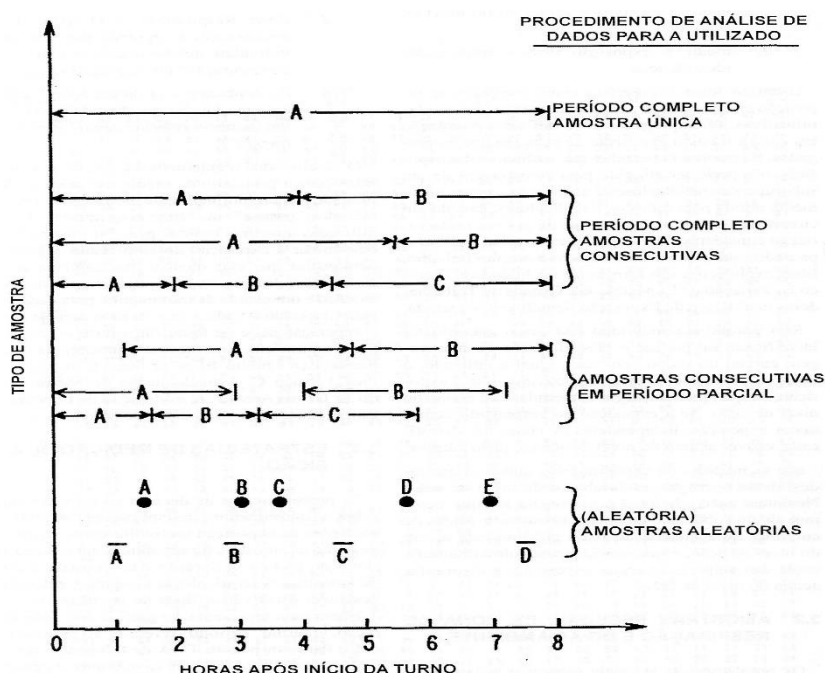
Ainda pode-se determinar e caracterizar o EMR de forma quantitativa, com análise de dados pregressos de exposição dos trabalhadores ou na falta destes com a utilização de ferramentas estatísticas, porém preferencialmente se opta pela análise qualitativa

devido ao número grande de amostras envolvidas e conseqüentemente dos recursos necessários para tal. (USP, 2021).

2.5.4 Estratégias de Medição de Exposição

Existem diferentes formas amostrais que são utilizadas em higiene ocupacional, sendo a decisão da escolha dependente de sua aplicabilidade e viabilidade, assim como das vantagens e desvantagens do ponto de vista estatístico. (USP, 2021). Segundo a NIOSH, não existe uma melhor estratégia para todas as situações, porém algumas são claramente melhores que outras.

Figura 9 – Tipos de medições de exposição para um padrão de exposição média de 8 horas.



Fonte: Manual de Estratégia de Amostragem (NIOSH, 1977)

2.5.4.1 Amostra Única de Período Completo

Este tipo de estratégia toma a amostra única sobre toda a base de tempo do limite de exposição, conforme figura 9, sendo esta dependente do tipo de limite. Esta forma, do ponto de vista estatístico, seria a segunda melhor opção para tomada de decisão em relação a exposição de uma jornada de trabalho. (USP, 2021).

2.5.4.2 Amostras Consecutivas de Período Completo

Este tipo de estratégia toma uma série de amostras, sendo que o tempo total das mesmas é igual a base de tempo do limite, conforme figura 9. Não necessariamente as amostras precisam ter a mesma duração. Esta forma, do ponto de vista estatístico é a de melhor benefício para tomada de decisão em relação a exposição de uma jornada de trabalho. (USP, 2021)

O benefício estatístico, ou seja, o estreitamento dos limites de confiança na estimativa da exposição, aumenta quando se aumenta o número de amostras. Quatro amostras de duas horas seria melhor do que duas amostras de quatro horas. Contudo os custos adicionais seriam grandes se comparados aos benefícios, sendo insignificantes para tomadas de decisão. (NIOSH, 1977).

2.5.4.3 Amostras Consecutivas de Período Parcial

Este tipo de forma amostral, consiste em uma ou mais amostras que não cobrem o tempo do limite integralmente, conforme figura 9. Esta estratégia de amostragem é limitada do ponto de vista estatístico, e deve ser considerada apenas se o higienista puder garantir, com base em sólido conhecimento dos processos e das atividades, que o tempo restante que não foi amostrado é essencialmente equivalente do ponto de vista da exposição ao agente. Ainda pode ser considerado, com base mais uma

vez na experiência e conhecimento do higienista, como sendo nula. Importante ressaltar que, se nenhuma das condições acima for atendida, não existem tratamentos estatísticos adequados para este tipo de estratégia. (USP,2021).

2.5.4.4 Amostras Aleatórias de Curta Duração

Este tipo de estratégia toma várias amostras de curtos períodos, que podem variar de segundos a alguns minutos, durante a jornada de trabalho de forma aleatória, conforme figura 9. O tempo de duração das amostras não tem interferência na precisão do ponto de vista estatístico, sendo inclusive válido o uso de medidores de leitura direta. Esta forma amostral tem o menor poder de decisão estatístico dentre todas sendo pouco apropriadas para estimar a exposição média ponderada para um período de oito horas.

2.5.5 Análise Estatística dos Resultados

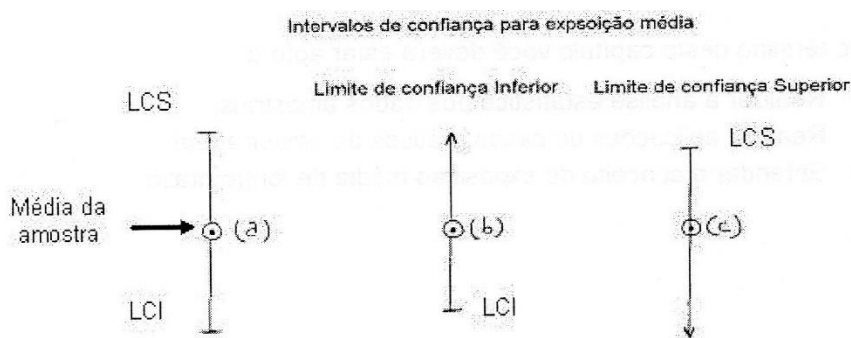
Ferramentas estatísticas são um instrumento poderoso que podem auxiliar o higienista, se as bases teóricas e as limitações forem compreendidas. Conceitos como do intervalo de confiança, limites de tolerância e das características básicas das distribuições de probabilidades, especialmente distribuição log-normal, devem ser claros para a correta utilização nas tomadas de decisão. (AIHA, 2006).

Assim quando tomamos uma amostra da exposição de um trabalhador e calculamos a média, esta raramente será exatamente igual a exposição real, isso devido as flutuações randômicas do ambiente de trabalho em uma jornada e dos erros aleatórios inerentes ao processo analítico utilizado. (NIOSH, 1977).

2.5.5.1 Limites de Confiança

Métodos estatísticos permitem ao higienista calcular limites de intervalo, para a estimativa da média de exposição. Este intervalo irá conter a média de exposição real para um dado nível de confiança, em geral 95%. Sendo o limite numericamente maior, denominado limite de confiança superior (LCS) e o limite numericamente menor, denominado limite de confiança inferior (LCI). (NIOSH,1977).

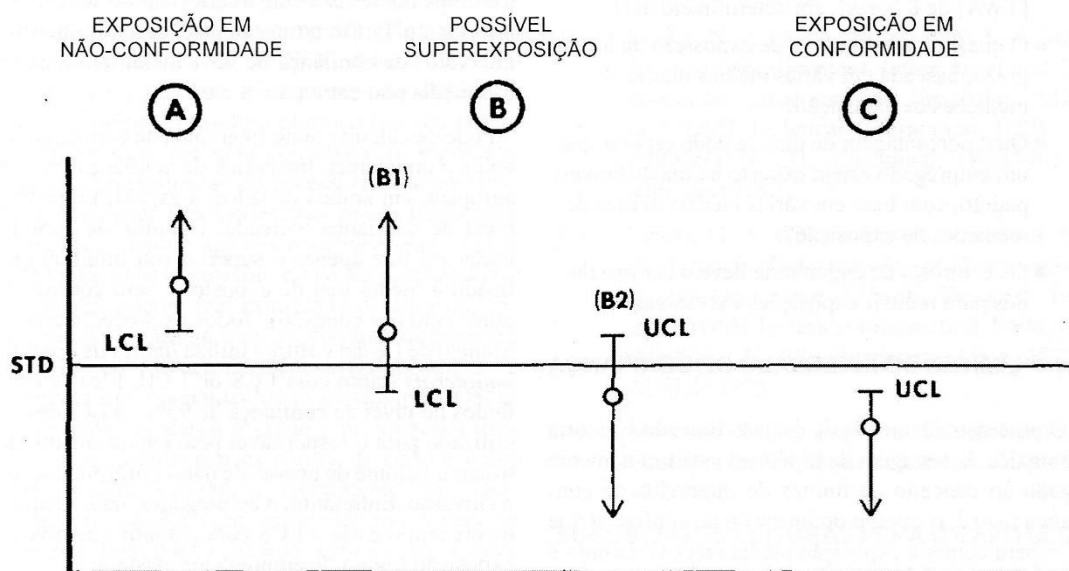
Figura 10 – Representação de exposições médias estimadas, com limites de confiança bilaterais (a) e unilaterais: LCI (b) e LCS (c)



Fonte: USP,2021

Na interpretação dos resultados pode-se usar intervalos de confiança bilaterais, ou seja, ambos limites serão utilizados de maneira a representar o intervalo no qual a média real estaria presente ou unilateral, utilizando apenas o LCI ou o LCS. Em termos práticos, o fiscal (governo) utilizaria o LCI na verificação de não-conformidade enquanto o empregador usaria o LCS. (USP,2021).

Figura 11 – Classificação de acordo com limites de confiança unilaterais



Fonte: NIOSH, 1977

A Quadro 9, resume de forma explicativa os sistemas de classificação para a exposição dos trabalhadores aos agentes, conforme figura 11.

Quadro 9 – Critérios para classificação da exposição

CLASSIFICAÇÃO	DEFINIÇÃO	CRITÉRIO ESTATÍSTICO
A – Não conformidade da exposição	Existe 95% de probabilidade de que a exposição do trabalhador monitorado seja superior ao padrão	$LCL(a 95\%) > LE$
B - Possível sobre-exposição	Qualquer indivíduo que não pode ser classificado como A ou C	
C – Conformidade da exposição	Existe 95% de probabilidade que a exposição do trabalhador seja inferior ao padrão	$LCS(a 95\%) \leq LE$

Fonte: USP, 2021

2.5.5.2 Distribuições Log-Normal e Normal

De acordo com a AIHA, as distribuições normal e log-normal são particularmente importantes para a higiene ocupacional. Sendo a amostragem randômica e o erro analítico associado aos resultados do monitoramento do ar normalmente assumido como uma distribuição normal e as variações aleatórias nas exposições das jornadas como uma distribuição log-normal.

Apesar de largamente difundida a ideia de que a distribuição log-normal pode ser presumida como a que melhor se adequa a realidade para tomadas de decisão, é importante fazer a verificação a priori das análises estatísticas. Existem diversos métodos disponíveis para o teste incluindo papeis probabilísticos, métrica de avaliação de modelos de distribuição, teste W ou o teste de Filliben. (AIHA, 2006).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

De forma a realização da avaliação da exposição ao ruído ocupacional, foram realizadas as seguintes etapas:

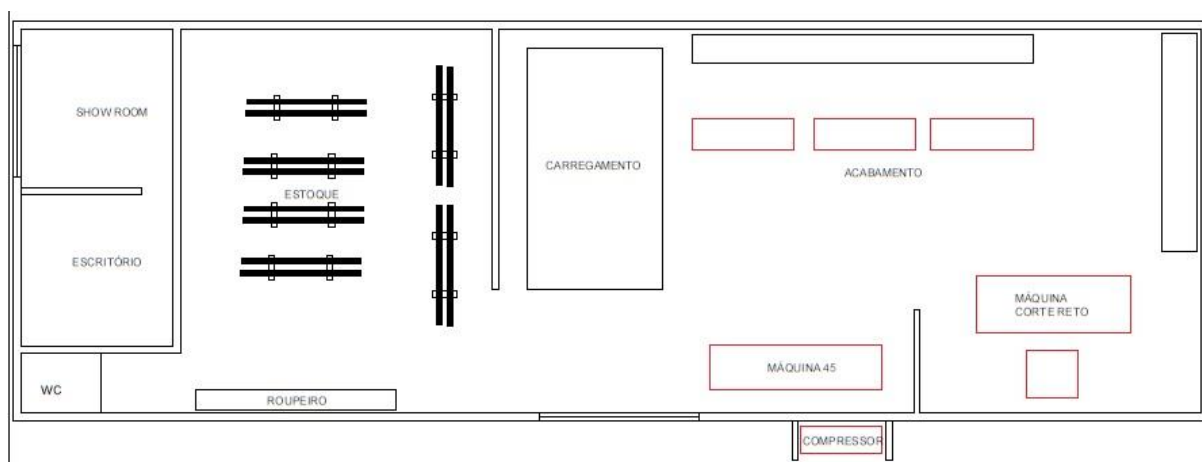
1. Visita técnica de maneira a identificar as áreas do estabelecimento, coleta de informações referentes aos funcionários, cargos, funções e descrições básicas das tarefas realizadas por cada função/cargo.
2. Definição da estratégia de amostragem para o GES, adotando as diretrizes do Manual de Estratégia de Amostragem da NIOSH e do livro *A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures* da AIHA, bem como a apostila da USP eHO-110 Estratégia de Amostragem.
3. Realização das medições de ruído ocupacional, utilizando dosímetro pessoal da marca 3M®, modelo edge5.
4. Tratamento estatístico das amostras coletadas, utilizado a planilha da AIHA.
5. Análise dos resultados, usando os limites de tolerância das normas NHO-01 e NR-15 Anexo II.
6. Propostas de implementação de medidas de controle emergenciais, bem como da elaboração do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais e do Programa de Conservação Auditiva.

3.1 LOCAL

A empresa situa-se no Distrito Industrial da cidade de Itajubá/MG, em um galpão de aproximadamente 300 m², com dimensões de 10 metros de frente por 30 metros de fundo, conforme figura 12. Na parte da frente situa-se o escritório da empresa combinado a um pequeno *showroom* que fica segregado da parte de produção por uma parede de alvenaria com uma porta dupla de vidro. Existe um acesso frontal para os clientes acessarem o escritório e um portão lateral de aproximadamente 4 metros para o acesso do veículo que realiza as entregas. Na parte de produção tem-se uma

área que é utilizada como roupeiro para os funcionários e também de estoque onde as chapas de granito e mármore ficam armazenadas em cavaletes de aço. Após o portão de acesso lateral, fica posicionado uma máquina de corte em 45° e a área de acabamento, composta por bancadas de aço onde os acabadores realizam o polimento, montagem e colagem das peças e bancadas. Por fim, ao fundo, temos a máquina de corte que trabalha sobre uma mesa de aço que movimentam as chapas. A ventilação se dá por uma série de aberturas posicionadas na parte direita superior do galpão e pelo portão lateral que permanece aberto o tempo todo da jornada. Ainda na parte de fora do galpão existe um compressor parcialmente enclausurado por alvenaria.

Figura 12 – Layout da Marmoraria



Fonte: Autor

A empresa conta hoje com 8 funcionários, sendo um gerente, uma secretária, um motorista, um entregador, três acabadores e um serrador, conforme Quadro 10.

Quadro 10 – Quadro de funcionários

Cargo	Número de funcionários
Gerente	1
Secretária	1
Motorista	1
Entregador	1

Acabador	3
Serrador	1

Fonte: Autor

3.1.1 Descrição das tarefas

As principais atividades da empresa são o beneficiamento de chapas de mármore e granito, para produção de materiais de acabamento para a construção civil. Dentre os serviços mais executados estão a produção de soleiras, peitoris, nichos e bancadas para cozinhas e banheiros e eventualmente realizam o revestimento de pisos, paredes e túmulos, mas esses serviços não chegam a 5% do total. Assim, o processo consiste no recebimento das chapas de materiais diversos, que geralmente medem 2,90 m por 1,85 m e pesam cerca de 300 kg com espessura de 2cm e cerca de 450kg quando a espessura é de 3cm. Após o recebimento as chapas são cortadas de acordo com o projeto específico para cada cliente, coladas com massa plástica, lixadas e polidas. Após o produto acabado é feita a entrega ao cliente ou instalação pela própria marmoraria.

A Quadro 11 descreve as atividades por cargo, conforme segue:

Quadro 11 – Descrição das atividades por cargo

Cargo	Descrição das atribuições
Gerente	Definir e implementar plano operacional, analisando a demanda de produtos, a capacidade produtiva e recursos auxiliares, elaborando plano de racionalização e redução de custos, plano de investimentos, orçamento de despesas e necessidades de matérias primas; planejar a produção, programando mão-de-obra e paradas ou intervenções em máquinas, equipamentos e instrumentos industriais; gerenciar equipes de trabalho, administrando salários, admissões, demissões, promoções e promovendo o desenvolvimento das equipes por meio de cursos e treinamentos; assegurar e promover o cumprimento das ações de proteção ao meio ambiente e também pelas normas de higiene e segurança no trabalho, por meio de orientações às suas equipes; desenvolver e implantar métodos e técnicas que visam melhorar e otimizar o processo de produção; gerenciar áreas de manutenção, engenharia de processos e logística.

Secretária	Assessorar o gerente no desempenho de suas funções, gerenciando informações, auxiliando na execução de suas tarefas administrativas e em reuniões, marcando e cancelando compromissos. Coordenar e controlar equipes (pessoas que prestam serviços a marmoraria, entregadores, acabadores, serrador e motorista) e atividades. Controlar documentos e correspondências. Atender clientes externos.
Motorista	Dirigir e manobrar veículos que transportam pessoas e cargas; realizar verificações e manutenções básicas do veículo; auxiliar na entrega adequada dos produtos; auxiliar na instalação de bancadas; auxiliar no recebimento das matérias primas
Entregador	Carregar os produtos de entrega; auxiliar na instalação das bancadas; auxiliar no recebimento das matérias primas
Acabador	Realizar a colagem das peças previamente cortadas; realizar o lixamento e polimento de pedra ornamentais; auxiliar no carregamento; execução da instalação de bancadas; auxiliar no recebimento de matérias primas
Serrador	Realizar o corte das pedras ornamentais; auxiliar no carregamento; auxiliar no recebimento de matérias primas

Fonte: Autor

Apesar de possuírem funções e atribuições bem definidas, eventualmente podem exercer função diferente, dependendo da demanda ou necessidade operacional.

3.1.2 Fontes Geradoras de Ruído

A principal fonte de ruído na empresa é a máquina de corte reto, que funciona estacionária e possui uma mesa de aço que se movimenta sobre trilhos elevados de maneira efetuar o corte das chapas de mármore e granito de acordo com projeto específico, conforme figura 13. A máquina possui 2 motores elétricos, um de potência de 10cv utilizado para movimentar o disco de serra de 300mm através de polias e correias e um segundo de potência 1,5cv utilizado para movimentar a serra de corte no sentido vertical. Trabalha com tensão de 380V e pelo tempo de uso apresenta diversos problemas em relação a proteções e adequações as normas pertinentes. Não foi encontrada nenhuma identificação legível que fornecesse a procedência ou fabricante da mesma.

Figura 13 – Máquina de corte reto



Fonte: Autor

A máquina de corte em 45° realiza o corte de maneira automática. Uma vez que o serrador tenha posicionado o material, e iniciado o processo, não precisa mais intervir até o corte ser concluído. A máquina possui um motor de 4cv e trabalha com um disco de serra de 250mm, tem dimensões 1670mm x 1390mm x 4030mm.

Figura 14 – Máquina de corte em 45°



Fonte: Autor

São utilizadas lixadeiras elétricas para o desbaste, lixamento e polimento das peças nas 3 bancadas do acabamento, com 2200W de potência cada uma.

Figura 14 – Lixadeira Angular 2200W



Fonte: Autor

Compressor de 325 litros, localizado na parte externa do galpão, que possui um motor de 10 hp e pressão de trabalho de 175 psi, com dimensões 1840mm x 760mm x 1590mm e parcialmente enclausurado por alvenaria nas laterais, conforme figura 15.

Figura 15 – Compressor 325l.



Fonte: Autor

3.1.3 Grupo de Exposição Similar (GES) / Exposto de Maior Risco (EMR)

O grupo de exposição similar para o ruído foi determinado qualitativamente como sendo os 3 acabadores e o serrador, devido a estarem expostos ao mesmo agente, a proximidade das áreas de trabalho e frequência de exposição similar.

O exposto de maior risco, foi determinado de forma qualitativa, como sendo o serrador pela proximidade a fontes geradora mais significativa, serra de corte reto. Importante ressaltar que a intensidade sonora é inversamente proporcional ao quadrado da distância, assim a proximidade da fonte tem papel fundamental no nível de exposição do trabalhador.

3.2 EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Para determinação da dose diária foi utilizado um dosímetro da marca 3M®, modelo edge5, tipo 2 e número de série ESL080008 devidamente calibrado.

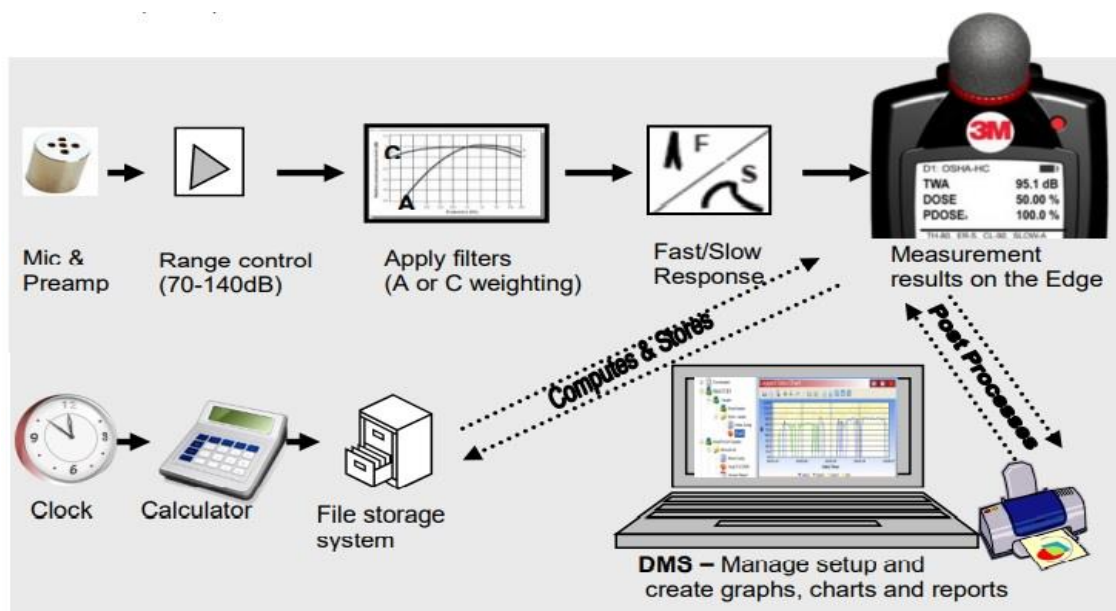
Figura 16 – Dosímetro Edge5



Fonte: Manual do fabricante

O dosímetro essencialmente é composto por um microfone com pré-amplificador, uma rede de filtros, um sistema de tempo de resposta (*slow/fast*), um *clock*, uma calculadora e um sistema interno de memória, conforme figura 17.

Figura 17 – Ilustração da operação e processamento do dosímetro



Fonte: Manual do fabricante

O funcionamento básico do dosímetro ocorre quando o microfone é exposto a um nível de pressão sonora e gera um sinal elétrico que será aumentado pelo pré-amplificador e então regulado pelo controle de banda (*dB range*), então o sinal passa através da rede de filtros e pelo sistema de tempo de resposta para finalmente ser calculado e guardado no sistema de memória. O dosímetro fornece dados como L_{AVG} , dose, TWA dentre outros. O pós-processamento dos dados é feito em um computador utilizando software fornecido pelo fabricante.

O dosímetro permite o ajuste de até 3 configurações de parâmetros diferentes e para o estudo foram configurados os parâmetros da NR-15 Anexo II e da NHO-01, conforme figura 18.

Figura 18 – Tela de configuração do dosímetro

Setup

Dosimeter

- Heartbeat Enable: ☒ Enabled
- Response: ☒ Slow ☐ Fast
- C-A Enable: ☐ Enabled
- Projected Time: Hours
- Peak Weighting: ☒ A ☐ C ☐ Z
- Dose % Indicator LED (Dosimeter 1): ☒ Enabled

Meter 1 (Setup Name: NR15)

- Threshold Enable: ☒ Enabled
- Threshold: dB
- Upper Limit: dB
- Exchange Rate: dB
- Criterion Level: dB
- RMS Weighting: ☒ A ☐ C

Meter 2 (Setup Name: NHO01)

- Threshold Enable: ☒ Enabled
- Threshold: dB
- Upper Limit: dB
- Exchange Rate: dB
- Criterion Level: dB
- RMS Weighting: ☒ A ☐ C

Meter 3 (Setup Name: ACGIH)

- Threshold Enable: ☒ Enabled
- Threshold: dB
- Upper Limit: dB
- Exchange Rate: dB
- Criterion Level: dB
- RMS Weighting: ☒ A ☐ C

Fonte: Autor

3.3 ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM

Definido o EMR e tendo em vista o tempo disponível para a realização da análise, foi decidido por amostras de período parcial da jornada integral, por apresentar melhores resultados do ponto de vista estatístico. No dia 30/06/2021, com auxílio do site www.random.org foram sorteadas 6 jornadas das 44 possíveis, conforme figura 19.

Figura 19 – Tela de sorteio das jornadas

Home Games Numbers Lists & More Drawings Web Tools Statistics Testimonials Learn More Login

RANDOM.ORG

Search RANDOM.ORG Search

True Random Number Service

Random Integer Generator

Here are your random numbers:

17
25
7
8
2
4

Timestamp: 2021-06-30 13:32:22 UTC

Again! Go Back

© 1998-2021 RANDOM.ORG
Follow us: Twitter | Facebook
Terms and Conditions
About Us

Fonte: Autor

Assim, nos dias úteis correspondentes selecionados, conforme Quadro 12, foram realizadas as medições, seguindo as orientações da NHO-01. Previamente ao início da jornada foi feita calibração de campo, utilizando um calibrador da marca *Instrutherm*®, modelo CAL-4000, número de série 131202433, devidamente calibrado. O dosímetro foi posicionado o mais próximo possível a zona auditiva do trabalhador e somente após foi iniciado o processo de medição. Após o turno da manhã o dosímetro foi pausado e retirado, sendo recolocado e iniciado antes do retorno do turno da tarde. Após o fim da jornada o dosímetro foi parado e retirado do trabalhador, sendo feita a verificação da calibração de campo, não sendo válida se a variação fosse maior que 1,0 dB. Finalmente os dados foram transferidos para o computador e os relatórios gerados.

Quadro 12 – Datas das medições

Números Sorteados	Data Correspondente
2	02/07/2021
4	06/07/2021
7	09/07/2021
8	12/07/2021
17	23/07/2021
25	04/08/2021

Fonte: Autor

Posteriormente foi feito o tratamento estatístico dos dados utilizando a planilha da AIHA e comparado com limites de tolerância estabelecidos pela NR15 e pela NHO-01.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas medições podem ser vistos na Quadro 13, podendo ser evidente que todos os resultados estão acima do limite de tolerância mesmo quando comparados a NR15, que por sua vez é mais permissiva que a NHO-01.

Quadro 13 – Resultados das medições em dose e L_{avg} para NR15 e NHO-01

DATA	L_{AVG} NR15	DOSE NR15	L_{AVG} NHO-01	DOSE NHO-01
02/07/2021	91,4 dB(A)	243,1%	94,7 dB(A)	935,6%
06/07/2021	92,1 dB(A)	269,8%	96,9 dB(A)	1575,5%
09/07/2021	91,9 dB(A)	261,6%	98,0 dB(A)	2072,0%
12/07/2021	90,5 dB(A)	216,0%	95,9 dB(A)	1241,0%
23/07/2021	91,3 dB(A)	240,2%	95,7 dB(A)	1196,7%
04/08/2021	91,7 dB(A)	256,4%	95,7 dB(A)	1192,4%

Fonte: Autor

Ainda podemos observar que o valor máximo registrado ficou acima do valor teto de 115 dB(A) em todos os dias, conforme pode ser observado na Quadro 14. Reforçando a importância do treinamento e dos riscos relacionados à omissão de uso dos EPI's.

Quadro 14 – Resultado das medições em L_{asmx}

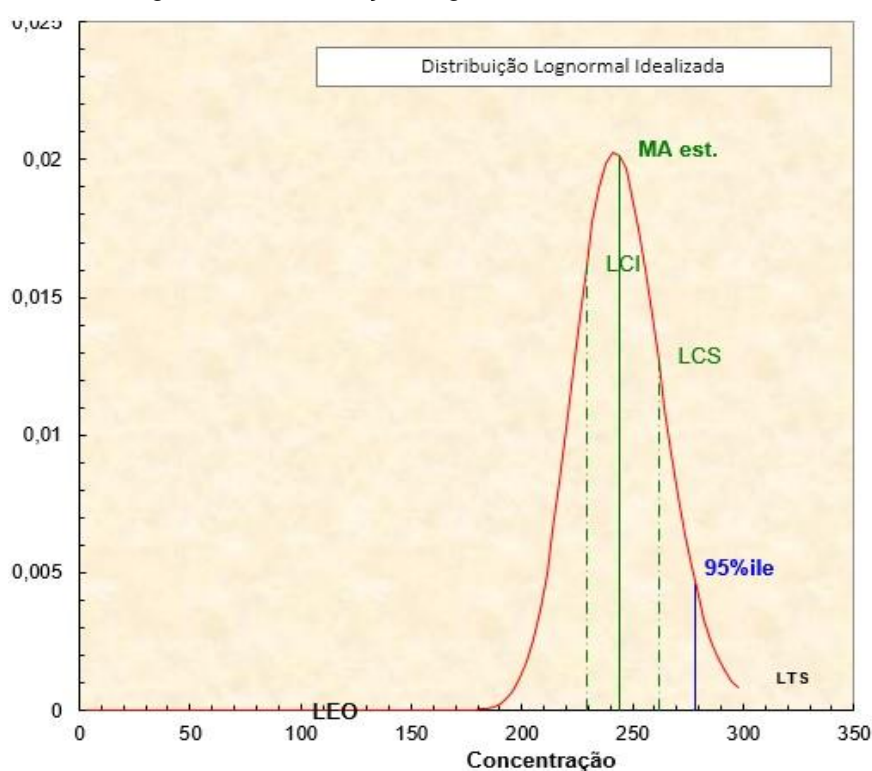
DATA	L_{asmx}
02/07/2021	117,5 dB(A)
06/07/2021	119,1 dB(A)
09/07/2021	120,1 dB(A)
12/07/2021	119,2 dB(A)
23/07/2021	115,2 dB(A)
04/08/2021	116,1 dB(A)

Fonte: Autor

De posse dos dados, foi feito o tratamento estatístico dos resultados utilizando a planilha da AIHA, onde podemos identificar as medias aritméticas estimadas, LCS, LCI, desvio padrão geométrico, aderência das amostras a distribuição log-normal e a distribuição log-normal idealizada referente ao período analisado, conforme figuras 20 e 21. Cabe ressaltar que idealmente, para uma correta estimativa da exposição de

longo prazo, seria necessário realizar as amostras em um intervalo de tempo de 6 meses a um ano, com medições mensais uma vez que os valores se encontram acima do limite de tolerância. Ainda é importante enfatizar, que no estudo em particular, apenas um período de amostragem já seria suficiente para concluir que o ruído ocupacional está acima do limite de tolerância e já seria suficiente para motivar medidas de controle. Contudo a realização de várias amostras, permite que se tenha um nível de confiança para embasar cálculos de atenuação para seleção de protetores adequados ao nível de exposição dos trabalhadores.

Figura 20 – Distribuição Log-normal Idealizada NR15



Fonte: Autor

A Quadro 15 descreve os dados obtidos na planilha da AIHA de interesse.

Quadro 15 – Estatística descritiva, paramétrica e teste de aderência (NR15)

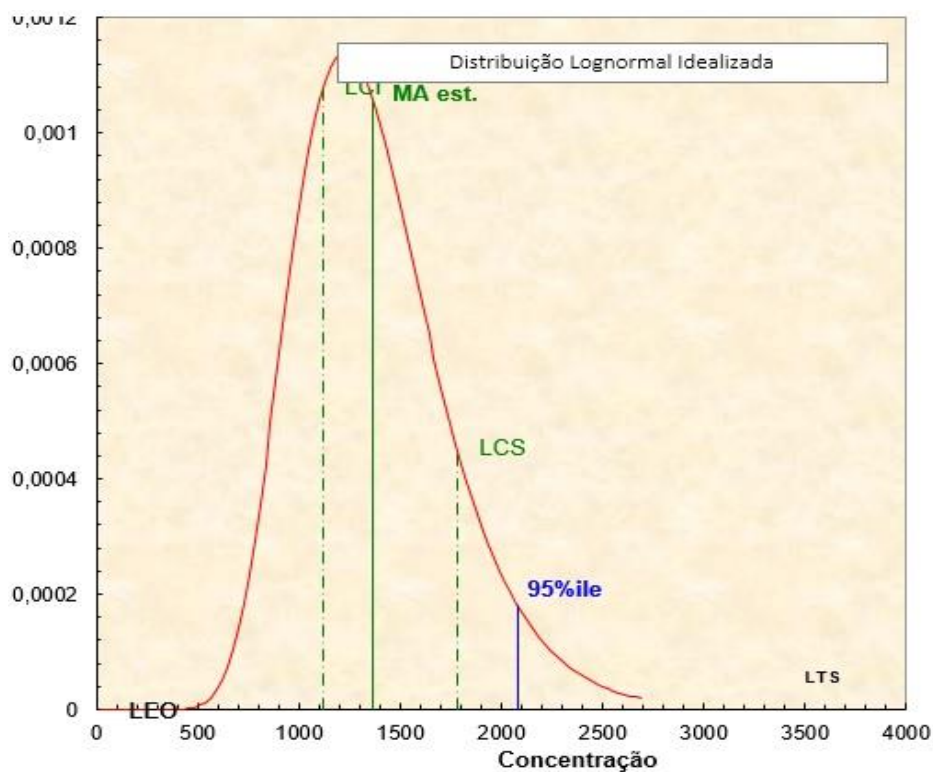
	DOSE	L _{AVG}
Média Geométrica	244%	91,4 dB(A)

Desvio Padrão Geométrico	1,08	--
% acima do LE	100%	--
TESTE W	0,972	--
Média Aritmética Estimada	244%	91,4 dB(A)
LCI	229%	91,0 dB(A)
LCS	262%	91,9 dB(A)
Percentil 95	278,3%	92,4 dB(A)
LTS 95%,95%	329%	93,6 dB(A)

Fonte: Autor

Conforme comentado anteriormente, deve ser preferível a utilização dos parâmetros com nível de confiança de 95%, para os cálculos de atenuação na seleção dos protetores auriculares de forma emergencial até que projetos de substituição das máquinas ou enclausuramento dos processos sejam elaborados e desenvolvidos. Analogamente foi feito o tratamento estatístico para os dados seguindo os limites de tolerância da NHO-01, conforme segue:

Figura 20 – Distribuição Log-normal Idealizada NR15



Fonte: Autor

A Quadro 16 descreve os dados obtidos na planilha da AIHA de interesse.

Quadro16 – Estatística descritiva, paramétrica e teste de aderência (NHO-01)

	DOSE	L_{AVG}
Média Geométrica	1320%	96,2 dB(A)
Desvio Padrão Geométrico	1,32	--
% acima do LE	100%	--
TESTE W	0,940	--
Média Aritmética Estimada	1370%	96,4 dB(A)
LCI	1120%	95,5 dB(A)
LCS	1790%	97,5 dB(A)
Percentil 95	2081%	98,2 dB(A)
LTS 95%,95%	3670%	100,6 dB(A)

Fonte: Autor

De forma mais atualizada, a NHO-01 por possuir o fator de duplicação (q) igual a 3, apresentam valores bem mais altos para as doses, exigindo que os protetores auriculares selecionados, de forma emergencial, possuam uma atenuação maior em relação a NR-15 até que medidas de controle sejam implementadas.

5 CONCLUSÕES

O trabalho atingiu seus objetivos de avaliar a exposição dos trabalhadores ao ruído ocupacional. O número de amostras, que por apresentarem pouca variação, foram suficientes para garantir que a exposição segue a distribuição log-normal conforme demonstrou o teste W da planilha da AIHA. Tanto a média aritmética estimada quanto LCS e o LCI encontram-se muito acima dos limites de exposição previstos em ambas as normas, NR15 e NHO-01, concluindo que medidas de controle administrativas e de engenharia, na substituição e segregação das fontes são necessárias. A elaboração de uma Programa de Conservação Auditivo (PCA) deve ser realizada prevendo a seleção correta de protetores auriculares, de preferência seguindo os limites de tolerância da NHO-01, bem como o acompanhamento audiométrico dos trabalhadores. Projetos para substituição e segregação das principais fontes de ruído, máquina de corte reto e máquina de corte 45°, devem ser elaborados por pessoal qualificado. O monitoramento dos níveis de exposição ao ruído deve ser mantido, de preferência mensalmente, até que os níveis alcancem o nível de ação.

REFERÊNCIAS

ACGIH – American Conference of Government Industrial Hygienist, “**Threshold limiting values for chemical substances and physical agents and biological exposures indices**” Cincinnati, Ohio, USA. Technical Affairs Office ACGIH, 2021.

AIHA – American Industrial Hygiene Association, “**A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures**”, 3rd edition, 2006.

ANSI – American National Standards Institute, “**Methods For Measuring The Real-Ear Attenuation Of Hearing Protectors**”, ANSI 12.6: 2016.

BISTAFA, Sylvio R., “**Acústica aplicada ao controle de ruído**”, Editora Blucher – 3^a edição, 2018.

BRASIL. NR 06 -. **Equipamento de proteção individual – EPI**. Portaria MTb n.º 877, de 24 de outubro de 2018. Disponível em:
<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-06.pdf>. Acesso em: 30 de junho de 2021.

BRASIL. NR 09 – **Programa de prevenção de riscos ambientais**. Portaria SEPRT n.º 1359, de 09 de dezembro de 2019. Disponível em:
<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-09-atualizada-2019.pdf>. Acesso em: 30 de junho de 2021.

BRASIL. NR 15 - **Atividades e Operações Insalubres**. Portaria SEPRT n.º 1.359, de 09 de dezembro de 2019. Disponível em:
<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-15.pdf>. Acesso em: 30 de junho de 2021.

BREVIOLIERO, Ezio, POSSEBON, José, SPINELLI, Robson, “**Higiene Ocupacional – Agentes Biológicos, Químicos e Físicos**”, Editora Sena – 10^a edição, 2019.

COSTA, Sady Selaimen da [et al], "**Otorrinolaringologia – Princípios e Prática**", Editora Artmed, 2ª edição, 2006.

GERGES, Samir Nagi Yousri, "**Protetores Auditivos**", Florianópolis - 1ª edição, 2003.

GERGES, Samir Nagi Yousri, "**Ruído – fundamentos e controle**", Florianópolis - 2ª edição, 2000.

ISO - International Organization for Standardization, "**Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours**", ISO 226:2003, 2003.

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health, "**Occupational Exposure Sampling Strategy Manual**", Cincinnati, Ohio, USA. NIOSH, 1977.

NUDELMANN, Alberto Alencar; COSTA, Everardo Andrade; SELIGMAN, José; IBÁÑEZ, Raul Nielsen, "**PAIR – Perda Auditiva Induzida pelo Ruído**". Editora Revinter, Volume II, 2001.

RANDOM.ORG. Disponível em www.random.org. Acesso: 30 de junho de 2021.

USP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Higiene do Trabalho. São Paulo; Epusp/PECE, 2021. Apostila para a disciplina do curso de Especialização em Higiene Ocupacional, eHO-110. **Estratégica de Amostragem**. Epusp- EAD/PECE, 2021. p.112.