

RAFAEL DA FONSECA PEREIRA

Análise da exposição ocupacional ao ruído em trabalhadores, na execução de manutenções em Grupos de Geradores de Emergência de uma planta química

São Paulo

2021

RAFAEL DA FONSECA PEREIRA

Versão Original

Análise da exposição ocupacional ao ruído em trabalhadores, na execução de manutenções em Grupos de Geradores de Emergência de uma planta química

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

São Paulo

2021

Dedico este trabalho a minha esposa,
Poliana da Silva Marques pela
compreensão e o apoio na realização
deste curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a empresa que me cedeu o espaço e os instrumentos necessários para a realização deste trabalho, aqui nomeada como: EMPRESA ALPHA.

Outrossim, agradeço a todos os Professores e Colaboradores do PECE-Poli e LACASEMIN da USP pelo profissionalismo e dedicação em manter este curso em funcionamento, sobretudo com exemplar qualidade, mesmo em tempos tão obscuros que vivemos nessa época devido à pandemia da COVID-19.

“Se conscientizarmos que a segurança do trabalho é essencial, então a saúde se tornará uma consequência.”

Charlison Soares Bispo

RESUMO

Este estudo apresenta a situação da empresa ALPHA, planta química, com processo produtivo dividido em alguns prédios devido ao sigilo industrial, que possui uma diversidade de equipamentos de utilidades para fornecimento de ar comprimido, condicionamento de ar industrial e energia elétrica de emergência. Os mantenedores da empresa realizam a manutenção de todos os grupos geradores, distribuídos em sete prédios em seu platô. Por tratar-se de equipamentos fabricados há mais de vinte anos, emitem níveis de pressão sonora elevados, podendo levar os trabalhadores da manutenção a situações de exposição ocupacional ao ruído, pois efetuam todos os trabalhos nos geradores em um único dia, semanalmente. Para analisar a situação de risco apresentada, foram realizadas dosimetrias em dois dias distintos, conforme normativas atuais e que resultaram em doses acima do limite de tolerância previsto em norma. Ainda, o avaliador deparou-se com situações inesperadas, demonstrando que imprevistos eventualmente acontecem e, sempre que possível, é aconselhável o acompanhamento da obtenção de amostras, dosimetrias ou afins. Em suma, os capítulos constantes neste trabalho apresentam um estudo de dosimetria de ruído ocupacional, análise da situação real dos trabalhadores e dos protetores auditivos por eles utilizados.

Palavras-chave: Ruído. Dosimetria. Proteção Auditiva. Manutenção. Grupos Geradores.

ABSTRACT

This study presents a situation of the company ALPHA, a chemical plant, with a production process divided into some buildings due to industrial secrecy, which has a variety of utility equipment to supply compressed air, industrial air conditioning and emergency electrical energy. The company maintainers perform the maintenance of all the generator sets, distributed in seven buildings on its plateau. Since its equipment manufactured at more than twenty years, it emits high sound pressure levels, which can lead maintenance workers to situations of occupational exposure to noise, as they carry out all work on the generators in a single day, weekly. To analyse the presented situation risk, this study performed dosimetry in two different days in accordance to the current regulation. Which resulted in doses above the limit tolerated in the standard. Still, the evaluator faced unexpected situations, demonstrating that unforeseen events eventually happen and it is advisable to monitor the samples whenever possible. It is advisable to monitor the collection of samples, dosimetry or alike. In short, the chapters in this work presents a study of occupational noise dosimetry, an analysis of the real situation of workers and the hearing protectors used by them.

Keywords: Noise. Occupational Noise Exposure. Hearing Protection. Maintenance. Generators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Grupo Gerador arrefecido à água	24
Figura 2 - Eficiência energética de um Motor Diesel	24
Figura 3 - Lâmina de aço em oscilação.....	26
Figura 4 - Ondas acústicas.....	26
Figura 5 - Espectro Sonoro	27
Figura 6 - Faixa audível em relação a pressão sonora	29
Figura 7 - Esquema dos espectros sonoros.....	35
Figura 8 - Corte da Orelha Humana	35
Figura 9 - Dosímetro DOS-500.....	51
Figura 10 - Calibrador CAL-3000	52
Figura 11 - Calibração do dosímetro DOS-500 com calibrador CAL-3000.....	53
Figura 12 - Protetor auditivo moldável.....	54
Figura 13 – Protetor auditivo de inserção pré-moldado.....	55
Figura 14 - Abafador e abafador com capacete	56
Figura 15 - Controle de Riscos.....	58
Figura 16 - Rascunho de layout do Prédio A.....	63
Figura 17 - Rascunho de layout do Prédio B.....	64
Figura 18 - Rascunho de layout do Prédio C.....	65
Figura 19 - Rascunho de layout do Prédio D.....	65
Figura 20 - Rascunho de layout do Prédio F	66
Figura 21 - Rascunho de layout do Prédio G	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curvas de resposta da orelha humana.....	30
Gráfico 2 - Circuitos de compensação A, B, C e D.....	31
Gráfico 3 - Dosimetria realizada em 21 de julho de 2021	75
Gráfico 4 - Dosimetrias realizadas em 18 de agosto de 2021	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados básicos de geradores movidos a motor diesel	25
Quadro 2 - Velocidade do som em relação ao meio	28
Quadro 3 - Comparação entre os limites de exposição ocupacional.....	33
Quadro 4 - Efeitos da exposição ao ruído	36
Quadro 5 - Redução da atenuação do EPI em relação ao tempo de uso	57
Quadro 6 - Atenuação em dB: Protetores auditivos	61
Quadro 7 - Tempos das dosimetrias: 18 de agosto de 2021.....	73
Quadro 8 - Dados compilados do primeiro dia de dosimetria.....	75
Quadro 9 - Dados compilados do segundo dia de dosimetria	76
Quadro 10 - Comparativo de doses	77
Quadro 11 - Comparativo detalhado com doses e tempos	77
Quadro 12 - Lavg baseado nos tempos de funcionamento dos Grupos Geradores..	78
Quadro 13 - Lavg baseado nos tempos das dosimetrias	78
Quadro 14 - Lavg dos tempos totais	79
Quadro 15 - Cálculo estimado da dose atenuada pelos protetores auditivos.....	80

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Nível de Pressão Sonora	29
Equação 2 – Dose.....	32
Equação 3 - Nível Médio (L_{avg})	34
Equação 4 - Efeitos combinados de Dose.....	43
Equação 5 - Nível de exposição.....	44
Equação 6 - Dose diária de ruído.....	45
Equação 7 - Dose diária com medidor portado pelo avaliador	46
Equação 8 - Nível de Exposição Normalizado	46
Equação 9 – Cálculo de atenuação: dB(C) para dB(A)	59
Equação 10 - Cálculo de atenuação em dB(A)	60
Equação 11 - Cálculo de atenuação com base no NRRsf.....	61
Equação 12 - NRRsf requerido em função do Nível de Ação.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
APR	Análise Preliminar de Riscos
ASO	Atestado de Saúde Ocupacional
CA	Certificado de Aprovação
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EST	Engenharia de Segurança do Trabalho
G.G.	Grupo(s) Gerador(es)
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LEO	Limite de Exposição Ocupacional
LER	Lesão por Esforços Repetitivos
LT	Limite de Tolerância
NA	Nível de Audibilidade
NBR	Norma Técnica Brasileira
NE	Nível de Exposição
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NPS	Nível de Pressão Sonora
NR	Norma Regulamentadora
NRR	Nível de Redução do Ruído
NRRsf	Nível de Redução do Ruído (Colocação Subjetiva)
PAIRO	Perda Auditiva Induzida pelo Ruído Ocupacional
PCA	Programa de Controle Auditivo
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PT	Permissão de Trabalho
OS	Ordem de Serviço
SST	Saúde e Segurança do Trabalho

LISTA DE SÍMBOLOS

cv	Cavalo-vapor – Unidade de Potência
hp	Horse-power – Unidade de Potência
k	Quilo – $10^3 = 1000$
kW	Quilowatt – Unidade de Potência
kVA	Quilovolt-ampère – Unidade de Potência
C	Comprimento – Unidade dimensional
L	Largura – Unidade dimensional
A	Altura – Unidade dimensional
kg	Quilograma – Unidade de peso
dB	Decibel
dB(A)	Decibel no circuito de compensação A
dB(B)	Decibel no circuito de compensação B
dB(C)	Decibel no circuito de compensação C
dB(D)	Decibel no circuito de compensação D
Hz	Hertz - Unidade de frequência
°C	Grau centigrado – Unidade de temperatura
m/s	Metro por segundo – Unidade de Velocidade
Pa	Pascal – Unidade de Pressão
log	Logaritmo
P	Pressão sonora existente
P _O	Pressão de referência mínima audível
q	Incremento de Duplicação de Dose
C _n	Tempo de exposição a determinado NPS
T _n	Tempo máximo de exposição a esse mesmo NPS
T _E	Tempo de duração, em minutos, da jornada diária de trabalho
D	Dose diária de ruído

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO	18
1.2 JUSTIFICATIVA	18
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 MANUTENÇÃO DE GRUPOS GERADORES DE EMERGÊNCIA	19
2.1.1 Manutenção	19
2.1.1.1 Manutenção corretiva	19
2.1.1.2 Manutenção preventiva	20
2.1.1.3 Manutenção preditiva	20
2.1.2 Mantenedor	21
2.1.3 Grupo Gerador de Emergência Movido à Motor Diesel	22
2.2 ONDAS SONORAS	25
2.2.1 Som	27
2.2.2 Propagação do Som	27
2.2.3 Definições de variáveis e parâmetros do som	28
2.2.3.1 Ruído	28
2.2.3.2 Decibel	28
2.2.3.3 Nível de Pressão Sonora	29
2.2.3.4 Nível de Audibilidade (NA)	30
2.2.3.5 Curvas de Compensação A, B, C e D	31
2.2.3.6 Dose	31
2.2.3.7 Limiar de integração	32
2.2.3.8 Incremento de Duplicação de Dose (q)	32
2.2.3.9 Limites de Exposição Ocupacional	32
2.2.3.10 Nível Médio (NM) ou “Average Level” (L_{avg})	33
2.2.3.11 Zona Auditiva	34
2.2.4 Mecanismo Auditivo	34
2.2.4.1 Efeitos do ruído no organismo	36
2.3 NORMAS REGULAMENTADORAS E DE HIGIENE OCUPACIONAL, PERTINENTES À REALIZAÇÃO DE SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO EM GRUPO GERADORES	37

2.3.1 NR 01, NR 07, NR 09 e NR 17: Normas gerais, comuns a todos os trabalhadores	37
2.3.1.1 NR 01 – Disposições Gerais	37
2.3.1.2 NR 07 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional	37
2.3.1.3 NR 09 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais	38
2.3.1.4 NR 17 – Ergonomia.....	38
2.3.2 NR 10 e NR 12: Serviços de eletricidade e Máquinas	39
2.3.2.1 NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade	39
2.3.2.2 NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos	40
2.3.3 NR 35: Trabalho em Altura.....	40
2.3.4 NR 06: Equipamentos de Proteção Individual (EPI)	41
2.3.4.1 Protetor Ocular.....	41
2.3.4.2 Calçado.....	42
2.3.4.3 Protetor Auditivo.....	42
2.3.5 NR 15: Atividades e Operações Insalubres.....	42
2.3.5.1 Anexo 1 – Limites de Tolerância para Ruído Contínuo ou Intermitente	42
2.3.5.2 Anexo 2 – Limites de Tolerância para Ruídos de Impacto	44
2.3.6 NHO 01: Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído Contínuo ou Intermitente.....	44
2.3.6.1 Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído.....	44
2.3.6.2 Avaliação da Exposição: Medidor integrador de uso pessoal	45
2.3.6.3 Avaliação da Exposição: Medidor portado pelo avaliador	45
2.3.6.4 Avaliação da Exposição pelo Nível de Exposição.....	46
2.3.6.5 Grupo Homogêneo.....	46
2.3.6.6 Procedimentos de Avaliação.....	47
2.3.6.7 Medidores integradores: Dosímetros	47
2.3.6.8 Calibradores acústicos.....	48
2.3.6.9 Procedimentos gerais de medição	48
2.3.6.10 Medição considerada inválida.....	49
2.3.6.11 Procedimentos específicos para a medição da exposição ocupacional.....	49
2.3.6.12 Relatório Técnico	50
2.4 PROTEÇÃO AUDITIVA	50
2.4.1 Programa de Controle Auditivo.....	50
2.4.2 Dosimetria	51

2.4.3 Equipamento de Proteção Individual	54
2.4.3.1 Protetores Auditivo tipo inserção moldável	54
2.4.3.2 Protetores Auditivo tipo inserção pré-moldado.....	55
2.4.3.3 Protetores Auditivo tipo concha (abafador)	55
2.4.3.4 Uso correto dos protetores auditivos.....	56
2.4.3.5 Tempo de uso real dos protetores auditivos	56
2.4.4 Atenuação ao ruído	57
2.4.4.1 NRR	59
2.4.4.2 NRRsf	60
3 MATERIAIS E MÉTODOS	62
3.1 EMPRESA ALPHA.....	62
3.1.1 Grupos Geradores: Prédio A	63
3.1.2 Grupos Geradores: Prédio B	63
3.1.3 Grupo Gerador: Prédio C	64
3.1.4 Grupo Gerador: Prédio D	65
3.1.5 Grupo Gerador: Prédio E	66
3.1.6 Grupos Geradores: Prédio F.....	66
3.1.7 Grupos Geradores: Prédio G	67
3.1.8 Rotina de Trabalho: Manutenção dos Grupos Geradores	67
3.2 DOSÍMETRIA.....	68
3.2.1 Seleção do trabalhador avaliado.....	68
3.2.2 Equipamentos	69
3.2.3 Dosimetria realizada em 21 de julho de 2021	69
3.2.4 Dosimetria realizada em 18 de agosto de 2021	72
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
4.1 DOSÍMETRIAS	75
4.2 ANALISE DOS DADOS	77
4.2.1 Doses.....	77
4.2.2 Níveis médios de pressão sonora: L_{avg}	78
4.2.3 Doses estimadas considerando o uso do protetor auditivo	79
5 CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

A humanidade evoluiu com o passar do tempo, inovando, criando ferramentas rudimentares e depois, manipulando minérios de ferro, criando metais como ligas aços, chegando até esta época com máquinas e dispositivos tecnológicos que facilitam o desenvolvimento produtivo em diversas áreas. O ser humano é capaz de voar, planar, navegar, gerar diversas formas de energia, dentre inúmeras atividades auxiliadas por equipamentos (MUNDO EDUCAÇÃO, 2021).

Infelizmente por trás de toda esta facilidade, podem existir ônus à saúde dos trabalhadores que participam de todo este ciclo produtivo nas mais diversas áreas. Os profissionais da área de Engenharia e Medicina do Trabalho vêm, há tempos, estudando as doenças dos trabalhadores, pesquisando suas causas e atrelando-as ou não, às condições adversas enfrentadas pelo proletariado (USP, 2020b).

Com a evolução dos estudos focados na prevenção das doenças e acidentes gerados nos ambientes de trabalho, apresenta-se a necessidade da antecipação dos sinistros através da análise dos riscos condidos no desempenho de cada atividade laboral. Os riscos podem ser classificados como: físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e mecânicos (ou de acidentes), existindo isoladamente ou em conjunto (USP, 2020b).

De toda a variedade de riscos que envolvem as atividades auxiliadas por máquinas, o ruído está presente entre as causas possíveis do adoecimento trabalhador ou da incapacidade prematura da realização de tarefas (SAMELLI et al., 2020).

Estima-se que quatro milhões de pessoas trabalham expostas a níveis de ruído que excedem o limite de exposição recomendado pelo NIOSH e outras vinte e duas milhões podem estar expostas a níveis perigosos de ruído anualmente (SAMELLI et al., 2020).

Nos Estados Unidos da América, aproximadamente 61% dos mineradores e trabalhadores da extração de óleo e gás, estão expostos ao ruído no desempenho de suas funções, dos quais, 24% apresentaram perdas auditivas (PUIATTI, 2019).

Em suma, os trabalhadores dos diversos segmentos industriais estão expostos aos riscos ocupacionais em seu dia a dia. Contudo, neste trabalho, destacam-se os trabalhadores da manutenção industrial ou mantenedores, pois estes profissionais geralmente têm tarefas dinâmicas e acesso a toda planta para realizar seus trabalhos diários. Além disso, utilizam ferramentas elétricas, pneumáticas, mecânicas ou manuais em suas atividades, potencializando sua exposição aos riscos físicos como ruído, vibração e radiação não ionizante (soldagem), bem como, riscos químicos em tarefas de soldagem (fumos metálicos), tintas, vernizes, solventes, óleos lubrificantes, óleos solúveis e graxas. Também estão expostos a riscos biológicos como animais peçonhentos ou bactérias, vírus e protozoários nas manutenções de sistemas de esgotos sanitários. Os riscos ergonômicos e mecânicos também estão presentes na rotina do mantenedor (USP, 2020b).

Por fim, este estudo propõe a análise ao risco da exposição dos mantenedores ao ruído ocupacional, na execução de manutenções preventivas em grupos geradores de energia elétrica de emergência em uma planta química, aqui nomeada como: empresa ALPHA.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem seu foco principal na análise do risco ocupacional de exposição ao ruído (risco físico), no desempenho das atividades realizadas por trabalhadores, na manutenção de grupos geradores de emergência instalados em uma indústria química.

1.2 JUSTIFICATIVA

A exposição ao ruído é um risco comum no desempenho das atividades industriais e o conhecimento de sua existência (quando se apresenta além dos limites normativos) é de extrema importância aos profissionais de segurança do trabalho e da higiene ocupacional.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MANUTENÇÃO DE GRUPOS GERADORES DE EMERGÊNCIA

2.1.1 Manutenção

A manutenção é o zelar pelo ativo (equipamento, instalação, prédio ou afins) de forma a mantê-lo em condições originais de uso.

Segundo Branco Filho (2008, p.5) e conforme a ABNT NBR 5462 (1994) a manutenção são as ações técnicas e administrativas que tenham como objetivo preservar o equipamento ou sistema, deixando-os em condições de operação e de desempenhar suas funções.

As manutenções são conhecidas e podem ser classificadas de inúmeras formas, considerando sua natureza de prevenção ou reparo; resoluções de problemas pontuais ou a troca de itens de desgaste de forma programada (como uma revisão em um automóvel), enfim, há vários nomes e classificações, porém, a seguir serão apresentados os três principais tipos de manutenções aplicados em todos os ramos de atividade.

2.1.1.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é uma intervenção que ocorre quando um equipamento falha. Sua periodicidade é inesperada (o equipamento pode falhar a qualquer momento), portanto não é sistemática (cíclica, periódica, programada ou planejada) e a resolução deve ser imediata.

Segundo Branco Filho (2008, p.6) a manutenção corretiva são os trabalhos de manutenção (reparos) realizados em máquinas após falha.

Ainda, conforme a ABNT NBR 5462 (1994) a manutenção corretiva é o serviço de reparo realizado após ocorrência de uma pane, com o intuito de reestabelecer ao

equipamento as suas condições de uso de desempenho de suas funções.

Este procedimento geralmente é realizado com o equipamento desligado e fora de operação.

2.1.1.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é uma intervenção programada, portanto sistemática, provida de um estudo realizado pelo fabricante do equipamento ou pelo setor de manutenção responsável pelo mesmo. Refere-se a troca planejada de itens de desgaste (rolamentos, buchas, mancais, correias, vedações, juntas ou correlatos), bem como de insumos (óleos: lubrificante, hidráulico, solúvel ou graxas), com vida útil determinada através de históricos de manutenções ou de informações dos fabricantes.

Segundo Branco Filho (2008, p.7) a manutenção preventiva é o serviço de manutenção empenhado em máquinas, que se encontram em operação, mesmo que com alguma falha não impeditiva.

Ainda, conforme a ABNT NBR 5462 (1994) a manutenção preventiva é manutenção realizada de forma periódica, conforme procedimentos pré-determinados, com intuito de diminuir a incidência de falhas ou o desgaste da função de um item.

Este procedimento geralmente é realizado com o equipamento desligado e fora de operação.

2.1.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é a inspeção das condições do equipamento, de forma sistemática, geralmente com o apoio de instrumentos de medição ou outros dispositivos específicos. Como exemplo de manutenções preditivas pode-se citar:

- a) Inspeção visual: pode-se verificar as condições de limpeza, segurança da

operação e comparar dados originais da máquina com os atuais (corrente elétrica, pressão de óleo, nível de óleo, pressão de ar comprimido; temperatura, ou afins, variam entre as máquinas);

b) Análise de vibração: pode-se verificar que o equipamento está desalinhado ou desbalanceado; e

c) Análise termográfica: pode-se verificar que componentes elétricos como contadores e disjuntores apresentam sobreaquecimento.

A manutenção preditiva, portanto, capta os sinais que o equipamento pode mostrar (em alguns casos, através de instrumentos).

Segundo Branco Filho (2008, p.8) a manutenção preditiva é o serviço de inspeção e monitoramento dos parâmetros operacionais do equipamento e seu eventual desgaste.

Ainda, conforme a ABNT NBR 5462 (1994) a manutenção preditiva é a manutenção realizada de forma periódica, através de instrumentos ou de análises técnicas, de forma completa ou por amostragem, visando diminuir as manutenções de natureza preventiva e principalmente corretiva.

Este procedimento geralmente é realizado com o equipamento ligado e em operação.

2.1.2 Mantenedor

O trabalhador da manutenção ou homem da manutenção, ou ainda, mantenedor é um profissional capacitado, muitas vezes de nível técnico industrial e, portanto, habilitado nas áreas de mecânica, eletrotécnica, eletrônica ou automação.

Deste profissional se espera conhecimento: detalhado do equipamento, dos métodos de manutenção, dos limites de crescimento do projeto, dos limites de reparo do equipamento e dos limites de serviço do equipamento (BRANCO FILHO, 2008).

2.1.3 Grupo Gerador de Emergência Movido à Motor Diesel

De acordo com a Norma ABNT NBR ISO 8528-1 (2014), o grupo gerador é um equipamento que possui um ou mais motores alternativos de combustão interna, que produz energia mecânica e a converte em energia elétrica através de um ou mais alternadores. Demais componentes dedicados a interligação dos motores e alternadores são considerados como parte do grupo gerador.

Segundo a Norma ABNT NBR ISO 8528-1 (2014), os grupos geradores também possuem definições quanto a:

- a) Classes de desempenho: G1, G2, G3 ou G4;
- b) Controle da Partida: Manual, semiautomática ou automática;
- c) Tempo de partida: com longa interrupção de energia (long-break), com curta interrupção de energia (short-break) ou sem interrupção de energia (no-break);
- d) Instalação: Fixo, transportável ou móvel;
- e) Local de instalação: Interna, externa com proteção contra intempéries e ao ar livre (sem proteção);
- f) Operação: Grupo único ou grupos em paralelo;
- g) Aplicação: Uso terrestre ou marítimo; e
- h) Operação por tempo: contínuo ou limitado.

Em geral, a maior parte das máquinas e da iluminação artificial das indústrias, utilizam da energia elétrica para seu funcionamento. Tal energia, no Brasil, é provida comumente pela concessionária distribuidora de energia elétrica. Contudo, algumas indústrias que possuem processos que não podem ser interrompidos, pois podem causar danos aos produtos e as máquinas ou mesmo condições perigosas aos trabalhadores. Neste caso, as empresas podem dispor de pequenas centrais de geração de energia elétrica de emergência, com máquinas geradoras de energia (grupos geradores) movidas à combustíveis fósseis e com capacidade para atender apenas os processos críticos e ininterruptos da planta.

Para melhor entendimento do desempenho esperado do grupo gerador em relação aos equipamentos que necessitam de energia elétrica de emergência, a Norma ABNT ISO 8528-1 (2014) traz em seu item 7 (classes de desempenho), resumo a seguir:

- a) Classe G1: Contempla os grupos geradores básicos, de uso geral com cargas como iluminação e outras cargas elétricas simples;
- b) Classe G2: Contempla os grupos geradores com parâmetros de tensão próximos aos entregues pela concessionária pública comercial, geralmente, para uso em sistema de iluminação, bombas, ventiladores e elevadores;
- c) Classe G3: Contempla os grupos geradores para atendimento às altas capacidades de controle da frequência e tensão como telecomunicações; e
- d) Classe G4: Contempla os grupos geradores para atendimento a suprimentos de energia com estabilidade de frequência, tensão e forma de onda excepcionalmente severas como equipamento de processamento de dados ou sistemas computacionais.

De acordo com Mamede Filho (2007, p.717) existem indústrias que optam por obter grupos geradores de emergência próprios, que operam quando há a interrupção do fornecimento de energia pela concessionária. Normalmente, o grupo é de menor capacidade que a demanda total da indústria, com intuito apenas de suprir parcialmente a chamada carga prioritária, composta geralmente de equipamentos ou processos sensíveis ou relacionados à segurança física das pessoas como: produtos plásticos que endurecem no interior dos moldes, sistemas climatizados na produção de cervejas, iluminação de emergência, ou afins.

Apresenta-se a seguir a Figura 1 que ilustra um grupo gerador de emergência movido a combustível fóssil:

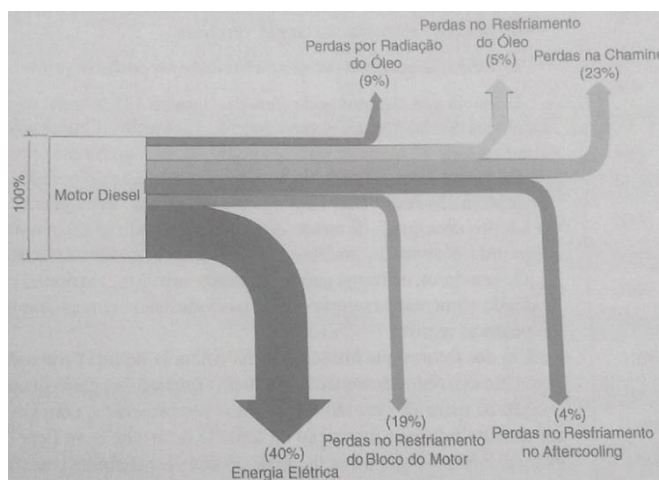
Figura 1 - Grupo Gerador arrefecido à água



Fonte: CUMMINS (2002)

As centrais de energia elétrica de emergência dotadas de grupos geradores movidos à diesel, podem conter mais de um grupo ou um grande grupo gerador, pois o rendimento energético obtido através da combustão do diesel pode não trazer tanta eficiência, gerando a necessidade de máquinas de maior capacidade, consequentemente maiores e mais robustas ou de um maior número de equipamentos trabalhando em conjunto para gerar a energia necessária. A Figura 2 a seguir traz a eficiência energética média de um motor diesel, aplicado a um grupo gerador:

Figura 2 - Eficiência energética de um Motor Diesel



Fonte: MAMEDE FILHO (2007)

Além disso, uma planta que possui materiais perigosos, como uma indústria química por exemplo, pode ter mais de um grupo gerador de emergência, na condição de redundância, pois caso falte a energia da concessionária e o primeiro grupo gerador falhe, o segundo está pronto para entrar em funcionamento. Esta condição pode existir principalmente visando a segurança da planta e de seus trabalhadores.

Para atender as necessidades das indústrias, existem vários fabricantes de grupos geradores que utilizam diversos modelos de motores diesel disponíveis no mercado. Portanto, o profissional habilitado que fará a seleção do grupo gerador terá uma lista de opções para verificar a compatibilidade em comparação com a necessidade do cliente. O Quadro 1 a seguir apresenta alguns dados principais referentes à seleção de grupos geradores de emergência:

Quadro 1 - Dados básicos de geradores movidos a motor diesel

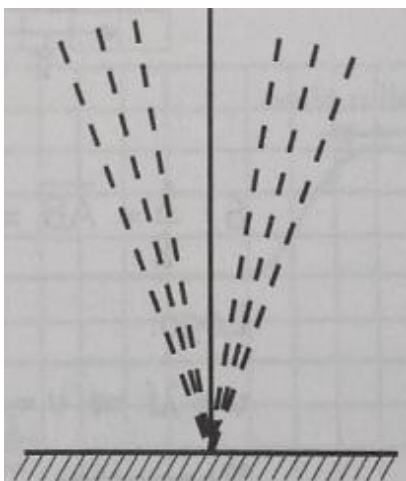
Potência do Gerador				Características do Motor				Dimensões em metros (C x L x A)	Peso (kg)
Continua p/ Tempo Indeter.		Emergência ou Intermitente		Fabricante	Modelo	Pot. Mec.	Num. de cilindros		
(kVA)	(kW)	(kVA)	(kW)			(cv)			
37	30	40	32	MWM	D229-3	50	3	1,75x0,72x1,17	765
260	208	290	232	Mercedes	OM-447A	300	6	2,69x1,11x1,87	1510
405	324	450	360	Cummins	NTA855-G3	542	6	3,29x1x1,9	3140
676	541	750	600	Daewoo	P222LE	883	12V	3,5x1,4x1,8	2540

Fonte: MAMEDE FILHO (2007)

2.2 ONDAS SONORAS

Apresenta-se na Figura 3 uma lâmina de aço de baixa espessura, engastada em uma das extremidades:

Figura 3 - Lâmina de aço em oscilação



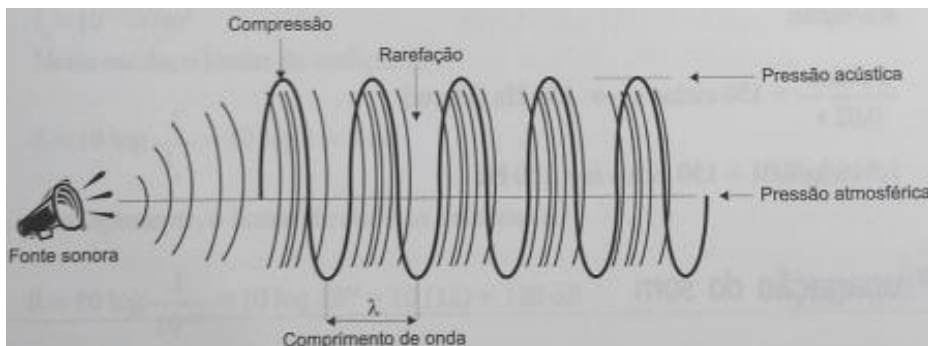
Fonte: BONJORNIO et al. (2001)

Segundo Bonjorno et al. (2001, p.346) movimentando-se uma fina lâmina de aço para um lado e para o outro, ocorre uma oscilação que provoca compressões e expansões no ar tocado pela lâmina, gerando ondas longitudinais conhecidas como ondas sonoras.

De acordo com Breviglierio, Possebon e Spinelli (2015, p. 237) a onda é uma perturbação disseminada em um meio e a onda sonora é a ação dinâmica e harmônica simples, do tipo senoidal (a representação gráfica é igual ao da função seno). Com a movimentação da onda existe o transporte de energia, mas não o de massa.

A Figura 4 a seguir ilustra a onda sonora demonstrando sua similaridade a função seno:

Figura 4 - Ondas acústicas



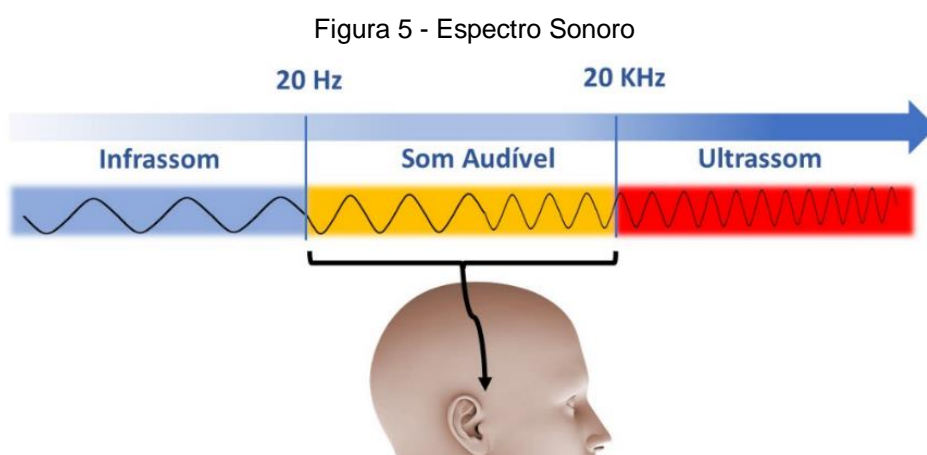
Fonte: BREVIGLIERIO, POSSEBON, SPINELLI (2015)

2.2.1 Som

De acordo com Bonjorno et al. (2001, p.346) a faixa de frequência de ondas percebidas entre 20 Hz e 20.000 Hz são audíveis pelo ouvido humano e conhecidas como sons.

Ainda, segundo Saliba (2001, p.11) o som origina-se de uma vibração mecânica propagada no ar, chegando ao ouvido. Se houver a estimulação do aparelho auditivo a vibração é sonora. Portanto, entende-se como som a vibração ou ondas mecânicas quando ouvidas.

As ondas sonoras com frequência abaixo de 20 Hz são chamadas de infrassons e com frequência acima de 20.000 Hz são chamadas de ultrassons. A Figura 5 a seguir ilustra o espectro sonoro em relação a frequência da onda e apresenta a faixa de sons audíveis pelos seres humanos:



Fonte: BLOG FORNELL. Acesso em: 06 ago. 2021.

2.2.2 Propagação do Som

Segundo Bonjorno et al. (2001, p. 346), as ondas sonoras são ondas mecânicas, pois dependem de um meio material para sua propagação.

O estado físico da matéria composta pelo meio, para que as ondas sonoras se propaguem é indiferente. Ou seja, o meio material pode ser sólido, líquido ou gasoso.

O Quadro 2 a seguir traz alguns valores de velocidade de propagação do som em alguns meios materiais:

Quadro 2 - Velocidade do som em relação ao meio

Meio	Velocidade (m/s)
Ar (a 20°C)	340
Água	1498
Ferro	5200

Fonte: BONJORNIO et al. (2001)

Segundo Breviglierio, Possebon e Spinelli (2015, p. 238), o som é transmitido na forma de ondas, assim sua velocidade de propagação necessita das propriedades da onda e do meio cujo qual é transmitida.

2.2.3 Definições de variáveis e parâmetros do som

2.2.3.1 Ruído

De acordo com Breviglierio, Possebon e Spinelli (2015, p. 231):

O ruído é o fenômeno físico vibratório com características indefinidas de variações de pressão (no caso, ar) em função da frequência, isto é, para uma dada frequência podem existir, em forma aleatória através do tempo, variações de diferentes pressões. Esta é uma situação real e frequente, por isso utilizamos a palavra ruído, mas não nos referindo, necessariamente, à sensação subjetiva do barulho.

2.2.3.2 Decibel

Devido a variação muito grande de pressão sonora que vai de 0,00002 até 200 Pa, que faria com instrumentos de indicação direta tivessem uma aplicação pouco prática, utiliza-se o decibel (dB) como uma relação logarítmica de grandezas (USP, 2020a, p. 8).

Portanto, o decibel não é uma unidade, mas sim uma relação adimensional logarítmica (USP, 2020a, p. 8).

2.2.3.3 Nível de Pressão Sonora

Segundo Breviglieri, Possebon e Spinelli (2015, p. 241) a equação que representa o nível de pressão sonora é:

Equação 1 - Nível de Pressão Sonora

$$NPS = 10 \times \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

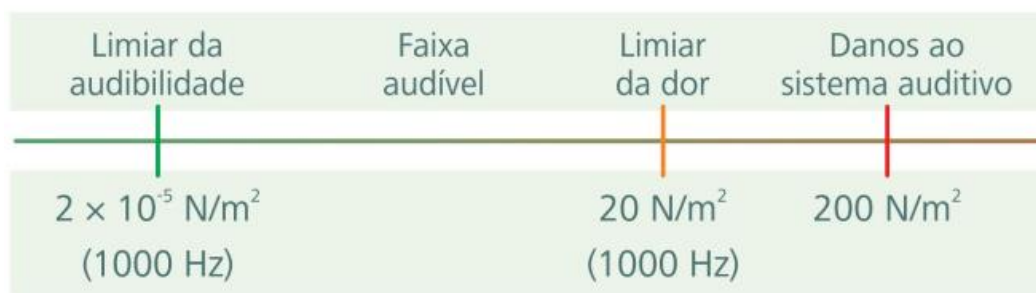
Fonte: BREVIGLIERO, POSSEBON, SPINELLI (2015)

De acordo com Saliba (2001, p. 13) com a evolução das técnicas clínicas e de medição, constatou-se que a equação acima demonstra o modelo matemático da relação entre o estímulo e a sensação. Contudo, tal modelo não apresenta a conformidade ideal em relação a reação do ouvido humano aos estímulos, porque não considera a frequência do som.

O trecho a seguir resume o que está ilustrado na Figura 6:

Convencionou-se o patamar de $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ como o valor de pressão mínima audível, correspondente a 0 decibel (dB) e o valor de 200 N/m^2 equivalente a 140 (dB) (BREVIGLIERO; POSSEBON; SPINELLI, 2015, p. 238).

Figura 6 - Faixa audível em relação a pressão sonora

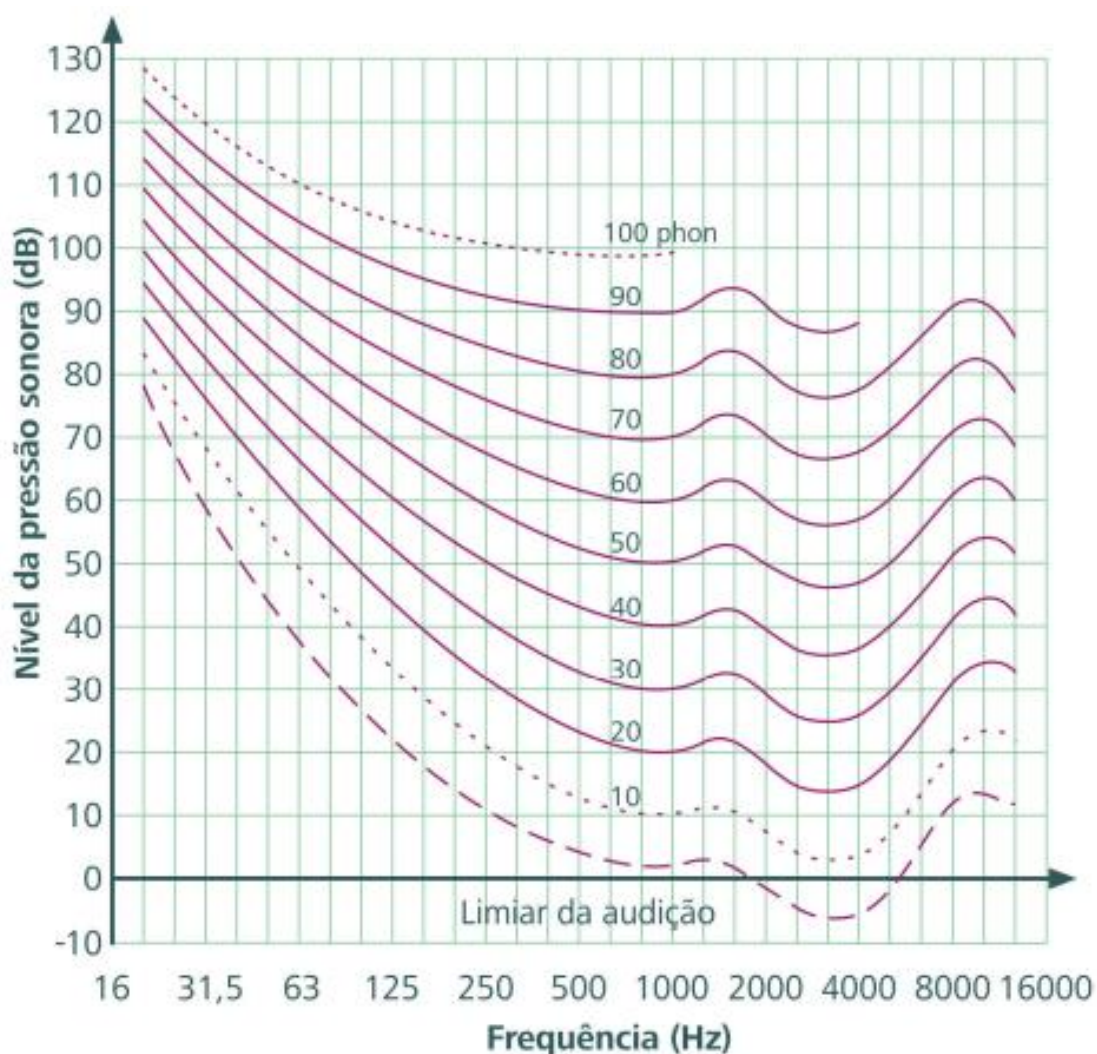


Fonte: PEIXOTO, FERREIRA (2013).

2.2.3.4 Nível de Audibilidade (NA)

Em relação ao Gráfico 1, segundo Breviglieri, Possebon e Spinelli (2015, p. 244), tomou-se como referência a frequência de 1.000 Hz e fundado nisso, construíram-se as curvas isoaudíveis, com o intuito de trazer igual resposta à orelha a determinados sons. Então, um som de noventa fones de nível de audibilidade (NA) é percebido majoritariamente pelas pessoas, com a mesma intensidade, indiferentemente da frequência e Nível de Pressão Sonora.

Gráfico 1 - Curvas de resposta da orelha humana



Fonte: PEIXOTO, FERREIRA (2013)

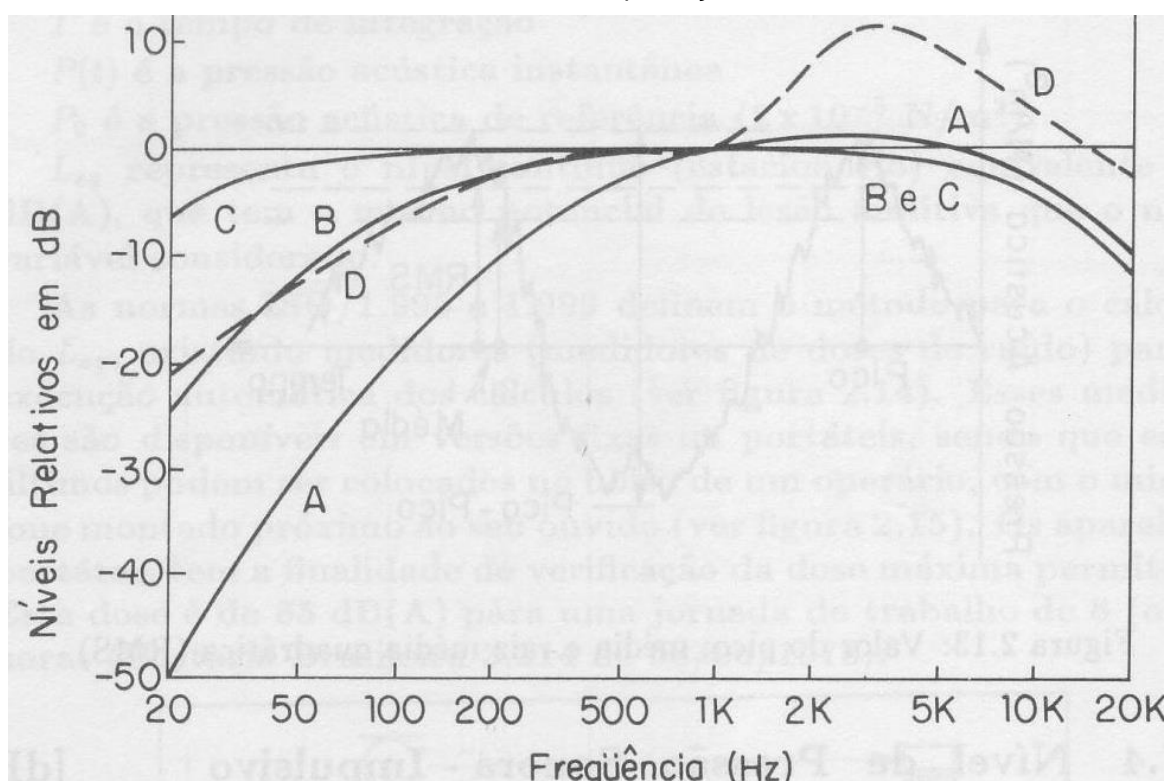
O ouvido humano, segundo estudos, não reconhece de forma linear às várias frequências, sendo que para algumas delas apresenta maior ou menor sensibilidade

(USP, 2020a, p. 13).

2.2.3.5 Curvas de Compensação A, B, C e D

As curvas compensação, conforme Gráfico 2, foram introduzidas nos medidores de nível sonoro filtros eletrônicos com a finalidade de aproximar a resposta do instrumento à resposta do ouvido humano (USP, 2020a, p. 13).

Gráfico 2 - Circuitos de compensação A, B, C e D



Fonte: ECOSILENZIO. Acesso em: 11 ago. 2021.

2.2.3.6 Dose

Segundo Peixoto e Ferreira (2013, p. 81), se tratando de ruído a dose simboliza a quantia, em percentual, que o profissional foi exposto no desenvolvimento de suas funções, considerando o nível de pressão sonora e o tempo. O valor percentual de um nível equivalente em decibel é chamado de dose. Portanto, a dose de 100% diz respeito ao valor máximo que o profissional pode expor-se sem que resulte em danos auditivos.

Para a ideia apresentada conforme Peixoto e Ferreira (2013, p. 81-82), a Equação 2 a seguir representa a dose diária:

Equação 2 – Dose

$$Dose = \sum \frac{C_n}{T_n}$$

Fonte: PEIXOTO, FERREIRA (2013)

Ainda, pode-se afirmar que se a dose apresentar o valor limite de uma unidade ou de cem por cento, a exposição do profissional é aceitável. Agora, se ultrapassar este limite, é considerado inadmissível pela legislação (USP, 2020a, p. 19).

2.2.3.7 Limiar de integração

Segundo a FUNDACENTRO (2001, p.13), é o nível ruído mínimo considerado como significativo para a composição da integração e à determinação do nível médio ou da dose de exposição.

2.2.3.8 Incremento de Duplicação de Dose (q)

De acordo com a FUNDACENTRO (2001, p. 12), o incremento de duplicação de dose é o acréscimo em decibéis que ao ser somado, consiste na duplicação da dose de exposição ou na diminuição (pela metade) do tempo máximo autorizado.

2.2.3.9 Limites de Exposição Ocupacional

De acordo com Peixoto e Ferreira (2013, p. 81) o ruído máximo cujo qual pressupõe-se que não trará danos à saúde do indivíduo, no desempenho de suas funções, é considerado como o limite de tolerância.

O Quadro 3 a seguir apresenta uma comparação dos valores de limites de exposição ocupacionais de três entidades conhecidas:

Quadro 3 - Comparação entre os limites de exposição ocupacional

NR 15		NHO 01		ACGIH	
LT dB(A)	Tempo máx. de exposição	T _n dB(A)	Tempo máx. de exposição	TLV dB(A)	Tempo máx. de exposição
85	8 horas	85	8 horas	85	8 horas
86	7 horas	86	6h 21min.		
87	6 horas	87	5h 02min.		
88	5 horas	88	4 horas	88	4 horas
89	4h 30min.	89	3h 10min.		
90	4 horas	90	2h 31min.		
91	3h 30min.	91	2 horas	91	2 horas
92	3 horas	92	1h 35min.		
93	2h 40min.	93	1h 16min.		
94	2h 15min.	94	1 hora	94	1 hora
95	2 horas	95	48 min.		
96	1h 45min.	96	38 min.		
98	1h 15min.	98	24 min.		
100	1 hora	100	15 min.	100	15 min.
102	45 min.	102	9 min.		
104	35 min.	104	6 min.		
105	30 min.	105	5 min.		
106	25 min.	106	4 min.	106	4 min.
108	20 min.	108	2 min.		
110	15 min.	110	1min. 28s.		
112	10 min.	112	1 min.	112	1 min.
114	8 min.	114	35 s.		
115	7 min.	115	28 s.	115	28 s.

Fonte: MTE; FUNDACENTRO; ACGIH. Acesso em: 11 ago. 2021.

2.2.3.10 Nível Médio (NM) ou “Average Level” (L_{avg})

Segundo a FUNDACENTRO (2001, p. 13), o nível médio é o “nível de ruído representativo da exposição ocupacional relativo ao período de medição, que considera os diversos valores de níveis instantâneos ocorridos no período e os

parâmetros de medição predefinidos”.

O nível ponderado (nível médio) em relação a um tempo de monitoramento, podendo ser indicado como nível de pressão sonora ininterrupto, produzindo doses idênticas ao do nível real e flutuante, considerando o mesmo período de tempo (USP, 2020a, p. 23).

A Equação 3 a seguir apresenta o conceito do L_{avg} :

Equação 3 - Nível Médio (L_{avg})

$$L_{avg} = 80 + 16,61 \times \log\left(\frac{0,16 \times Dose}{T_m}\right)$$

Fonte: USP (2020a, p. 23)

De acordo com Peixoto e Ferreira (2013, p. 87), o L_{avg} é o valor equivalente que representa a jornada ou período de exposição, de forma única, demonstrando o nível médio de pressão sonora que o indivíduo estaria exposto de forma constante, para receber igual dose em relação ao mesmo tempo de exposição. A essência do L_{avg} é similar à do L_{eq} , a diferença entre eles está no incremento de duplicação que no primeiro é de 5 dB.

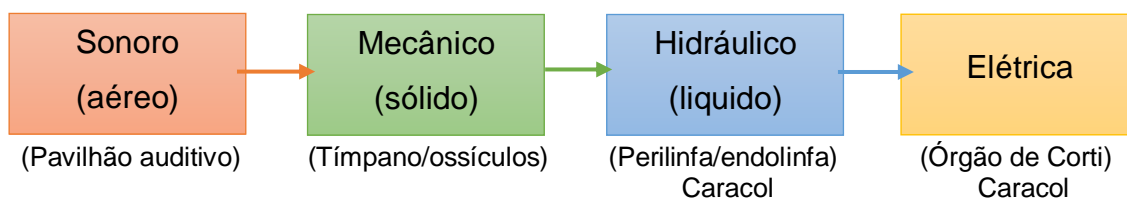
2.2.3.11 Zona Auditiva

De acordo com Peixoto e Ferreira (2013, p. 113), a zona auditiva é a faixa próxima ao ouvido dentro de um raio de $150\text{mm} \pm 50\text{mm}$, considerando como referência a entrada do canal auditivo.

2.2.4 Mecanismo Auditivo

Breviglieri, Possebon e Spinelli (2015, p. 243), apresentam de uma forma didática através da Figura 7, o esquema que representa a orelha humana, sendo um órgão altamente sensível, capaz de distinguir sons de frequências de ampla faixa e níveis de pressões exponencialmente maiores entre si.

Figura 7 - Esquema dos espectros sonoros

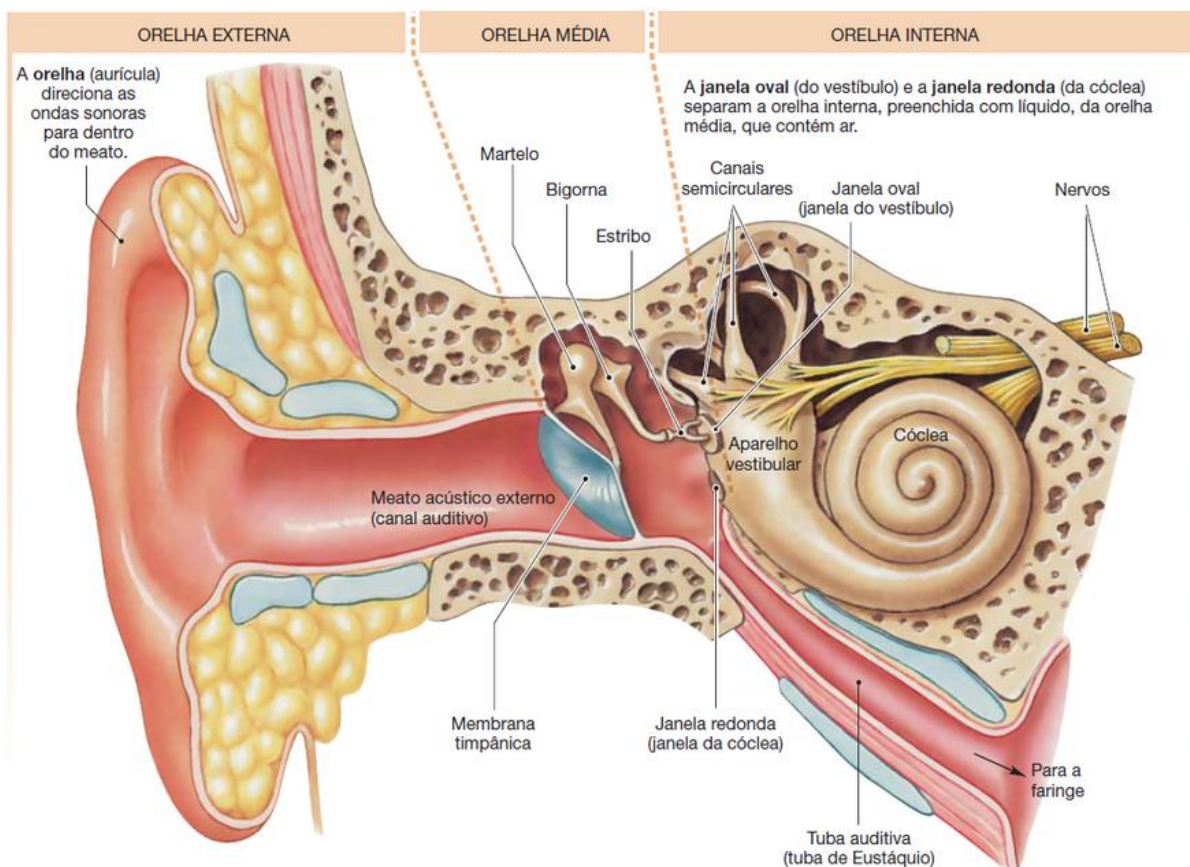


Fonte: BREVIGLIERO, POSSEBON, SPINELLI (2015)

Segundo Brevigliero, Possebon e Spinelli (2015, p. 243), o sistema chamado de audição é uma técnica de conversão de energias.

A Figura 8 a seguir, ilustra uma orelha humana em corte, com seus órgãos principais e as descrições de alguns deles:

Figura 8 - Corte da Orelha Humana



Fonte: SILVERTHORN (2017).

2.2.4.1 Efeitos do ruído no organismo

Segundo Breviglieri, Possebon e Spinelli (2015, p. 232) além dos efeitos auditivos, podem ocorrer os fisiológicos e os psicológicos, como cansaço, insônia, dor de cabeça, dentre outros. Ainda, o ruído elevado desequilibra a condutividade elétrica do cérebro, diminuindo a produtividade e atenção do indivíduo.

O Quadro 4 a seguir apresenta alguns dos principais efeitos da exposição ao ruído:

Quadro 4 - Efeitos da exposição ao ruído

Efeitos do ruído

Auditivos	Deslocamento temporário do limiar auditivo
	Surdez profissional: condutiva e neurossensorial
Não auditivos	Dor de Cabeça
	Irritabilidade
	Vertigens
	Cansaço excessivo
	Insônia
	Dor no coração
	Zumbido na orelha
Sinérgicos	Ruído e tolueno
Ruído intenso	Altera a condutividade elétrica do cérebro, provocando uma queda na atividade motora.
	Diminui a atenção e concentração, provocando uma diminuição na produtividade.

Fonte: BREVIOLIERO, POSSEBON, SPINELLI (2015)

2.3 NORMAS REGULAMENTADORAS E DE HIGIENE OCUPACIONAL, PERTINENTES À REALIZAÇÃO DE SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO EM GRUPO GERADORES

2.3.1 NR 01, NR 07, NR 09 e NR 17: Normas gerais, comuns a todos os trabalhadores

As Normas regulamentadoras 01, 07 e 09 estão em período de adaptação devido a atualização e mudanças ocorridas nos textos das mesmas. Contudo, até a data da entrega deste trabalho, suas versões antigas estão vigentes e, portanto, são estas últimas que foram consideradas.

2.3.1.1 NR 01 – Disposições Gerais

A norma regulamentadora nº 01 apresenta disposições gerais sobre a relação entre empregado e o empregador.

Dentre várias disposições e definições, cabe citar que o empregador deve no momento da contratação de um novo empregado, registrá-lo em sua carteira de trabalho e criar uma Ordem de Serviço (OS) contendo as informações pessoais do empregado (nome completo, documento de identificação, função e afins), atribuições do cargo ou função de forma detalhada, lista de equipamentos de proteção individual (caso haja) e riscos ocupacionais (caso existam). Isto é necessário para qualquer função exercida na empresa.

2.3.1.2 NR 07 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional

As empresas devem elaborar e cumprir com o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO) e este deve ser evidenciado e assinado por um médico do trabalho devidamente registrado no conselho de classe.

Os exames médicos previstos de forma periódica devem ser realizados e somente funcionário portadores do Atestado de Saúde Ocupacional (ASO) poderão realizar

suas funções na corporação.

2.3.1.3 NR 09 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

As empresas devem elaborar e implementar o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) visando o reconhecimento e a prevenção dos riscos de todas as áreas da empresa, consequentemente o maior controle para benefício dos empregados.

Este programa deve ser elaborado por um profissional habilitado na área de saúde e segurança do trabalho.

2.3.1.4 NR 17 – Ergonomia

Na questão ergonômica, podem-se citar as seguintes alíneas, resumidamente, do subitem 17.5.2, da norma, que dizem respeito às atividades que exijam solicitação intelectual:

- a) Níveis de ruído conforme convenção da NBR 10152; e
- b) Temperatura efetiva entre 20°C e 23°C.

Assim, não há restrições aos trabalhadores da manutenção, sendo que a norma só traz o limite de 65 dB(A) de ruído e faixa de temperatura entre 20 e 23°C para trabalhos administrativos (escritórios).

Contudo, quando o enfoque é a saúde do trabalhador, apesar de não haver restrições explícitas nas normas nacionais, o profissional da área de Saúde e Segurança do Trabalho (SST), deve estar atendo as condições físicas e psicológicas as quais, estes trabalhadores podem estar expostos como: estresse, tempos extra jornadas frequentes, carregamento de peso excessivo, posturas inadequadas na execução do trabalho, lesões por esforços repetitivos (LER), dentre outros.

2.3.2 NR 10 e NR 12: Serviços de eletricidade e Máquinas

Os equipamentos de geração de energia encontrados em locais de grande porte como industriais, shoppings e afins, são instalados normalmente na área externa ou em locais afastados como subsolos, porões ou terraços. Estes locais geralmente ficam conhecidos como centrais de utilidades.

Utilidades é o nome empregado aos recursos de apoio as operações como: fornecimento de água, energia, ar comprimido, geração de energia de emergência (geradores, quando há a necessidade) ou correlatos.

Assim, conclui-se que tais equipamentos se encontram em locais com acesso restrito aos profissionais da operação (ligar, regular e operar os sistemas) e da manutenção.

2.3.2.1 NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade

Basicamente, todos os painéis elétricos para alimentação dos equipamentos devem estar devidamente fechados e isolados, sendo que os operadores tenham acesso apenas a botoeiras de operação (e que estas, sejam preferencialmente remotas, ou seja, fora da sala de máquinas). As demais condições para centrais de energia previstas pela norma devem ser cumpridas.

Para os profissionais da manutenção elétrica é exigido a realização de um treinamento chamado de curso básico de segurança em instalações e serviços com eletricidade. As previsões para a realização estão listadas principalmente nos subitens 10.7.2 e 10.8.8 que se resumem a:

- a) Os mantenedores devem ser treinados previamente, conforme previsões da norma em seu anexo III, principalmente em relação aos conhecimentos mínimos e a carga horária;
- b) Os mantenedores autorizados a realizar reparos nas instalações elétricas devem ser previamente treinados, conforme previsões da norma em seu anexo III, para que estejam cientes dos riscos envolvidos nos trabalhos e nas medidas

- de prevenção de sinistros; e
- c) A norma ainda traz em seu texto que este treinamento deve ser feito de forma bienal.

Por fim, há a obrigatoriedade de que os trabalhos que envolvam Alta Tensão (AT) ou Sistema Elétrico de Potência não sejam executados individualmente, conforme subitem 10.7.3 da NR 10.

2.3.2.2 NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos

Todos equipamentos ou partes do grupo gerador, de natureza mecânica, devem possuir proteções para suas partes moveis e sistemas de segurança e intertravamento para partes moveis que não possam ser totalmente envoltas por proteções metálicas.

Contudo, atualmente, todos os equipamentos fabricados possuem as proteções para partes girantes citadas.

2.3.3 NR 35: Trabalho em Altura

Esta norma aplica-se provavelmente apenas a mantenedores quando o equipamento estiver instalado em patamares superiores com altura que exija ferramentas adicionais para o alcance como escadas, plataformas elevatórias ou andaimes, e estes, estejam com altura da base (onde o trabalhador está com os pés) superior a dois metros em relação ao chão.

Para estes casos, segundo a norma NR 35, o empregador deve:

- a) Certificar de que o mantenedor possui treinamento específico válido (possui periodicidade bienal estabelecida em norma) para a realização do trabalho;
- b) Realizar Análise Preliminar de Riscos (APR) e a Permissão de Trabalho (PT), com acompanhamento do supervisor da área e de um profissional da área de segurança do trabalho;
- c) Garantir a forma mais segura possível para a realização do trabalho;

- d) Entregar todos os EPIs mínimos e necessários para a realização do serviço;
- e) Assegurar que o trabalho em altura será supervisionado; e
- f) Dentre os demais quesitos da NR.

Assim, cabe ao profissional da área de segurança do trabalho verificar quando há a necessidade da aplicação da NR em questão.

2.3.4 NR 06: Equipamentos de Proteção Individual (EPI)

A norma regulamentadora nº 06 estabelece os tipos e características mínimas necessárias para os Equipamentos de Proteção Individual.

Pode-se citar como a mais importante delas o Certificado de Aprovação (CA), expedido pelo órgão competente, neste caso, o Ministério do Trabalho e Emprego (atualmente a Secretaria do Trabalho pertencente ao Ministério da Economia).

Quando, e preferencialmente apenas quando, medidas de engenharia como Equipamentos de Proteção Coletivas (EPC) ou medidas administrativas (como mudanças de layout, compras de materiais, dentre outras) não forem suficientes para minimizar os riscos ou impactos a níveis considerados como controlados (abaixo do nível de ação ou metade do limite de tolerância), deve-se adotar a utilização dos Equipamentos de Proteção Individual, controlando os riscos e mantendo-os em níveis aceitáveis, visando à saúde do trabalhador no desenvolvimento de suas funções, conforme as normas regulamentadoras e normas internacionais.

Assim, no âmbito da manutenção, os EPIs principais a indicar aos trabalhadores ligados a manutenção dos grupos geradores são os seguintes:

2.3.4.1 Protetor Ocular

Na execução das tarefas de manutenção e de operação, aconselha-se a utilização de óculos de proteção para todos os envolvidos, conforme alínea a (óculos para proteção

dos olhos contra impactos de partículas volantes), do subitem B.1 (Óculos), do Item B (EPI PARA PROTEÇÃO DOS OLHOS E FACE), do anexo I, da NR 06.

2.3.4.2 Calçado

Na execução das tarefas de manutenção, aconselha-se a utilização de calçados para todos os envolvidos, conforme subitem G.1 (Calçado), do Item G (EPI PARA PROTEÇÃO DOS MEMBROS INFERIORES), do anexo I, da NR 06.

2.3.4.3 Protetor Auditivo

Na execução das tarefas de manutenção, aconselha-se a utilização dos mesmos para todos os envolvidos, conforme subitem C.1 (Protetor Auditivo), do Item C (EPI PARA PROTEÇÃO AUDITIVA), do anexo I, da NR 06.

O protetor auditivo é parte importante deste estudo e será explorado no decorrer do trabalho.

2.3.5 NR 15: Atividades e Operações Insalubres

Desde que os equipamentos pertencentes ao grupo gerador estejam localizados em centrais de utilidades (externamente ou distantes), a norma regulamentadora nº 15 e seus anexos, pode eventualmente ser aplicável aos colaboradores envolvidos com a manutenção dos sistemas.

Contudo, como o foco deste estudo está direcionado a situação de exposição ocupacional ao ruído, classificado como contínuo ou intermitente, os demais critérios de insalubridade que eventualmente, possam existir na atividade de manutenção de grupos geradores não serão aprofundados.

2.3.5.1 Anexo 1 – Limites de Tolerância para Ruído Contínuo ou Intermitente

Alguns equipamentos podem eventualmente emitir ruídos acima de 85 dB(A) que é

considerado como o limite de tolerância (em uma jornada de tempo de 8 horas diárias) e se a exposição for contínua ou com período de tempo elevado, o trabalhador pode estar exposto a uma situação insalubre.

Segundo o anexo 1, da NR 15 "Entende-se por Ruído Contínuo ou Intermitente, para os fins de aplicação de Limites de Tolerância, o ruído que não seja ruído de impacto".

Ainda, de acordo com este anexo da NR 15, as condições que devem ser observadas resumem-se a:

- a) Os níveis de ruído devem ser medidos em decibéis (dB);
- b) O instrumento de medição de nível de pressão sonora, deve operar no circuito de compensação "A", ou seja, medição em dB(A);
- c) A resposta deve ser lenta (SLOW);
- d) As leituras devem ser próximas ao ouvido do trabalhador;
- e) Os tempos de exposição aos níveis de ruído não devem exceder os limites de tolerância (LT), apresentados anteriormente no Quadro 3;
- f) Se o nível de exposição encontrado estiver entre dois níveis, deve-se considerar o valor imediatamente superior;
- g) O valor máximo de exposição é de 115 dB(A) para indivíduos desprotegidos. Valores acima deste teto, sem o uso de EPI, podem ser considerados como Imediatamente Perigoso a Vida e a Saúde (IPVS); e
- h) Se ocorrerem dois ou mais períodos de exposição a ruído de diferentes níveis, devem ser considerados seus efeitos somados, conforme Equação 4 a seguir:

Equação 4 - Efeitos combinados de Dose

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

Fonte: NR 15. Acesso em: 11 ago. 2021.

- i) Se o resultado da Equação 4 exceder uma unidade, a exposição estará acima do LT.

2.3.5.2 Anexo 2 – Limites de Tolerância para Ruídos de Impacto

Este anexo foi citado neste estudo, apenas para esclarecer a definição do ruído de impacto, visto que, o anexo 1 da mesma norma, afirma que o ruído contínuo ou intermitente é todo aquele que não seja ruído de impacto.

Portanto, segundo o anexo 2, da NR 15, “Entende-se por ruído de impacto aquele que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 (um) segundo, a intervalos superiores a 1 (um) segundo”.

2.3.6 NHO 01: Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído Contínuo ou Intermitente

2.3.6.1 Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído

As condições principais a serem observadas em relação a avaliação da exposição ocupacional ao ruído, resumem-se a:

- a) Os limites de exposição diária correspondem a uma dose de 100%, em 8 horas, com nível de 85 dB(A);
- b) O incremento de duplicação para esta norma, considera o aspecto físico-científico, adotando o valor de (q) igual a 3 no nível do limiar de integração de 80 dB(A);
- c) A avaliação deverá ser feita com base no nível de exposição, conforme Equação 5 ou da dose diária de ruído, conforme
- d) Equação 6:

Equação 5 - Nível de exposição

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

Fonte: FUNDACENTRO (2001).

Equação 6 - Dose diária de ruído

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

Fonte: FUNDACENTRO (2001).

- e) A avaliação deve ser realizada utilizando-se um medidor integrador, fixado no trabalhador; e
- f) Na indisponibilidade do equipamento previsto no subitem anterior, procedimentos alternativos com medidores instantâneos podem ser utilizados, respeitando parâmetros estabelecidos na norma. Contudo, caso a tarefa seja dinâmica ou complexa, com diversidades de leituras, como por exemplo, um operador de empilhadeiras, ou um mantenedor, que envolvam a movimentação constante do trabalhador, os métodos alternativos não poderão ser utilizados.

2.3.6.2 Avaliação da Exposição: Medidor integrador de uso pessoal

As condições principais a serem observadas em relação a este tópico, resumem-se a:

- a) A dose diária deve ser preferencialmente determinada através de um medidor integrador de uso pessoal, com parâmetros ajustados de acordo com a norma;
- b) O limite de exposição corresponde a uma dose diária de 100%;
- c) O nível de ação a ser observado pelos profissionais da área de SST é igual a 50% da dose diária; e
- d) O valor máximo de exposição é de 115 dB(A).

2.3.6.3 Avaliação da Exposição: Medidor portado pelo avaliador

As condições principais a serem observadas em relação a este tópico, resumem-se a:

Sendo inviável o uso do medidor pessoal pelo trabalhador, o dispositivo pode ser portado pelo avaliador, assim, a dose diária obedecerá a Equação 7:

Equação 7 - Dose diária com medidor portado pelo avaliador

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

Fonte: FUNDACENTRO (2001).

- a) Níveis com valores abaixo de 80 dB(A) serão desconsiderados; e
- b) Os demais quesitos são idênticos aos tópicos anteriores.

2.3.6.4 Avaliação da Exposição pelo Nível de Exposição

As condições principais a serem observadas em relação a este tópico, resumem-se a:

- a) Quando não houver a possibilidade de se utilizar um medidor integrador de uso pessoal, outros equipamentos, como por exemplo o medidor de leitura instantânea, poderá ser utilizado, conforme quesitos apresentados nos subitens anteriores;
- b) Para fins comparativos, o cálculo do Nível de Exposição Normalizado (NEN)¹, conforme, pode ser realizado, que corresponde ao NE expandido à uma jornada de 8 (oito) horas:

Equação 8 - Nível de Exposição Normalizado

$$NEN = NE + 10 \times \log \frac{T_E}{480} \text{ [dB]}$$

Fonte: FUNDACENTRO (2001).

2.3.6.5 Grupo Homogêneo

É possível analisar o local de trabalho e verificar dentro de um processo produtivo que um grupo de trabalhadores, possa apresentar níveis compatíveis de exposição. Neste caso, não há a necessidade de avaliar todos os trabalhadores.

¹ O conceito de Nível de Exposição Normalizado (NEN) foi apresentado neste estudo, pois consta na NHO 01, FUNDACENTRO (2001, p. 17). Contudo, não será utilizado como base de cálculo no desenvolvimento do trabalho.

As avaliações podem ser feitas com um ou mais indivíduos que correspondam a uma situação similar de exposição que possa ser replicada aos demais.

Quando não houver a possibilidade de reduzir o número de trabalhadores amostrados, todos devem ser avaliados.

2.3.6.6 Procedimentos de Avaliação

É essencial a escolha do período de amostragem que seja adequado como representação da jornada de trabalho.

Contudo, segundo a FUNDACENTRO (2001):

No decorrer da jornada diária, quando o trabalhador executar duas ou mais rotinas independentes de trabalho, a avaliação da exposição ocupacional poderá ser feita avaliando-se, separadamente, as condições de exposição em cada uma das rotinas e determinando-se a exposição ocupacional diária pela composição dos dados obtidos.

As demais condições principais a serem observadas em relação a este tópico, resumem-se a:

- a) Se houverem dúvidas em relação a amostragem, se é passível de demonstrar a exposição, então, deve-se realizar a avaliação na jornada toda;
- b) A avaliação deve interferir minimamente na rotina habitual e nas condições normais de trabalho para que seja válida; e
- c) Uma análise prévia das condições de trabalho, ambientais ou qualquer outro fator importante à avaliação e determinação da exposição dos trabalhadores, deve ser realizada.

2.3.6.7 Medidores integradores: Dosímetros

De acordo com a FUNDACENTRO (2001, p. 23), os equipamentos devem ter especificações de acordo com a Norma ANSI S1.25-1991, classificação mínima do

tipo 2 e ajustados conforme os seguintes parâmetros:

- a) circuito de ponderação – “A”;
- b) circuito de resposta – lenta (slow)
- c) critério de referência – 85 dB(A), que corresponde a dose de 100% para uma exposição de 8 horas;
- d) nível de limiar de integração – 80 dB(A);
- e) faixa de medição mínima – 80 a 115 dB(A);
- f) incremento de duplicação de dose = 3 ($q=3$); e
- g) indicação da ocorrência de níveis superiores a 115 dB(A).

2.3.6.8 Calibradores acústicos

De acordo com a FUNDACENTRO (2001, p. 25) os calibradores acústicos são dispositivos aplicados na calibração dos medidores de nível de pressão sonora (também conhecidos por dosímetros de ruído). Estes calibradores devem:

- a) Atender as condições mínimas da norma ANSI S1.40-1984 ou IEC 942-1988;
- b) Aconselha-se que sejam da mesma fabricante que o dosímetro; e
- c) Impreterivelmente, possuir acoplamento compatível com o microfone do medidor.

2.3.6.9 Procedimentos gerais de medição

As condições principais a serem observadas em relação a este tópico, resumem-se a:

- a) Os equipamentos devem estar calibrados e em perfeitas condições de integridade;
- b) As baterias devem ter carga suficiente para a avaliação;
- c) Observar parâmetros de ajuste da norma;
- d) Efetuar calibrar local conforme indicações do fabricante;
- e) O microfone deve ser posicionado dentro da zona auditiva do trabalhador,

preso em sua vestimenta;

- f) Se houver diferenças significativas no nível de pressão sonora entre os ouvidos, deve ser escolhido aquele que apresenta maior nível;
- g) O posicionamento e a conduta do avaliador, não deve interferir na rotina normal do trabalhador;
- h) O avaliado deve ser informado sobre o objetivo do teste, que não deve alterar sua rotina, que não serão gravados áudios e que não poderá mexer no equipamento de medição; e
- i) Se houver a presença simultânea de ruído contínuo ou intermitente e ruído de impacto, a avaliação deste último deverá ocorrer separadamente, conforme norma.

2.3.6.10 Medição considerada inválida

As medições serão invalidadas se:

- a) A calibração local apontar diferença acima da tolerância de ± 1 dB;
- b) Se a tensão da bateria estiver abaixo do aceitável; e
- c) Se a integridade física do equipamento for comprometida.

2.3.6.11 Procedimentos específicos para a medição da exposição ocupacional

As condições principais a serem observadas em relação a este tópico, resumem-se a:

- a) Os ajustes devem ser executados conforme norma (subitem 2.3.6.7 deste estudo);
- b) A calibração local deve ser realizada conforme instruções do fabricante;
- c) O microfone deve ser posicionado na zona auditiva do trabalhador;
- d) O cabo do microfone (se houver) deve ser fixado, evitando excesso;
- e) Se possível, o equipamento deve ter seu teclado bloqueado, evitando acesso a qualquer outro indivíduo que não seja o avaliador;
- f) A dosimetria deve ser iniciada após microfone devidamente posicionado;
- g) O medidor deve ser verificado sistematicamente, durante a dosimetria,

- assegurando as condições do teste;
- h) O microfone deve ser removido (desafixado do trabalhador) após término da avaliação;
- i) Verifique e acompanhe o tempo real da medição, sempre que a mesma não ocorrer de forma integral na jornada; e
- j) Se a avaliação ocorreu em tempo menor que a jornada, a dose deve ser projetada, determinando a dose diária.

2.3.6.12 Relatório Técnico

De acordo com a FUNDACENTRO (2001, p. 35-36), o relatório técnico deve possuir as seguintes informações:

- a) Introdução, incluindo objetivos do trabalho, justificativa e datas ou períodos em que foram desenvolvidas as avaliações;
- b) Critério de avaliação adotado
- c) Instrumental utilizado;
- d) Metodologia da avaliação
- e) Descrição das condições de exposições avaliadas;
- f) Dados obtidos; e
- g) Interpretação de resultados.

2.4 PROTEÇÃO AUDITIVA

2.4.1 Programa de Controle Auditivo

De acordo com a FUNDACENTRO (2018, p. 7) o Programa de Conservação Auditiva (PCA) é o agregado de ações indicadas a prevenir ou congelar as perdas auditivas providas do exercício das funções dos empregados. Tal procedimento é gerado através de projetos de melhoria contínua, reunindo profissionais diversos da empresa que tenham conhecimentos pertinentes à concepção dos projetos e ações preventivas.

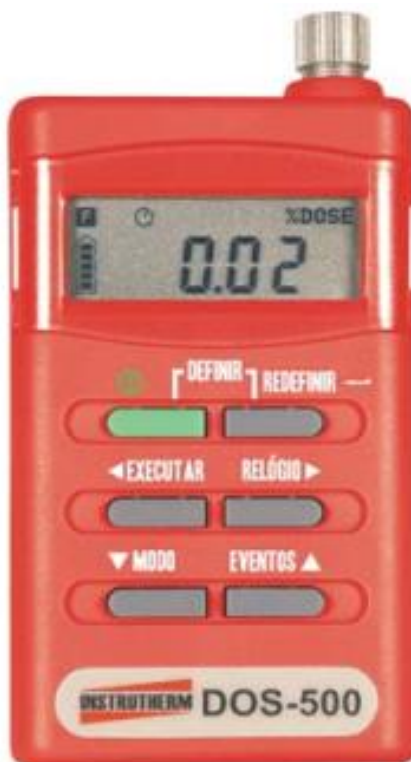
2.4.2 Dosimetria

Segundo a 3M DO BRASIL (2011, p. 43) deve-se efetuar a dosimetria quando houver a necessidade de verificar os níveis de exposição ocupacional ao ruído em trabalhadores dispostos em várias áreas ou locais da empresa, sabendo-se que, geralmente, nos variados ramos de atividade existem níveis diversos de ruídos e tempos diferenciados entre as tarefas desempenhadas.

2.4.2.1 Dosímetro: Medidor Integrador

O medidor integrador digital utilizado para as avaliações deste estudo foi o dosímetro pessoal de ruído modelo DOS-500, da fabricante INSTRUTHERM, conforme Figura 9 a seguir:

Figura 9 - Dosímetro DOS-500



Fonte: INSTRUTHERM (2007)

Segundo a INSTRUTHERM (2007, p. 3), as especificações principais do modelo DOS-500:

- a) Padrões aplicados: ANSI S1.25 - 1991 Ponderação A, ISO 1999 e BS 6402:1983;
- b) Microfone: Condensado de eletreto de ½ polegada cabo com aproximadamente 80cm de comprimento;
- c) Escala de ruído de Dose: 0,01 a 9999% DOSE;
- d) Nível de critério: Seleccionável entre 80, 84, 85, 90dB;
- e) Nível Limiar: Seleccionável entre 70 ~ 90dB (passos de 1dB);
- f) Taxa de troca (fator duplicativo): Seleccionável entre 3, 4, 5, 6dB;
- g) Detecção de nível alto: 115dBA;
- h) Sinalização de pico: 140dB;
- i) Escala de medição de nível de ruído: 70 ~ 140dB;
- j) Precisão: $\pm 1,5$ dB;
- k) Frequência de ponderação: A;
- l) Frequência de resposta: 20Hz ~ 10KHz; e
- m) Constante de Tempo: F / S (Fast / Slow = Rápido / Lento).

2.4.2.2 Calibrador acústico

O calibrador acústico utilizado para a calibração local realizada para este estudo foi o calibrador modelo CAL-3000, da fabricante INSTRUTHERM (modelo recomendado para calibração do medidor DOS-500), conforme Figura 10 a seguir:

Figura 10 - Calibrador CAL-3000



Fonte: INSTRUTHERM (2005)

Segundo a INSTRUTHERM (2005, p. 1-2), as especificações principais do modelo CAL-3000:

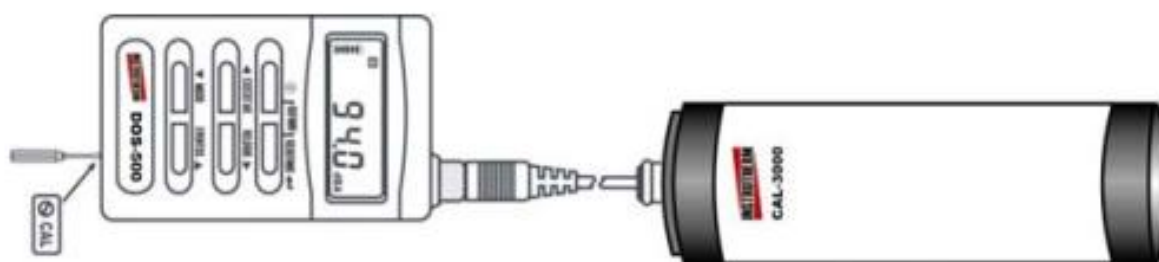
- a) Nível de pressão de som 94 dB e 114 dB;
- b) Precisão 0.4 dB (20C, 760 mm Hg);
- c) Frequência de 1000±2.4% Hz permite calibração com A, B, C ou D avaliação de sistema ou linear;
- d) Pressão estática de influência extremamente baixa;
- e) Fabricado conforme a norma IEC 942 - classe 1;
- f) Categoria: Tipo 2; e
- g) Calibração de microfones 1 e ½.

2.4.2.3 Calibração do medidor integrador

Então, a calibração do DOS-500, através do calibrador CAL-3000, ilustrada pela Figura 11 e realizada de acordo com a INSTRUTHERM (2007, p. 11) e resumem-se a:

- a) Verificar se o aparelho no modo de dB(A) e se a constante de tempo de resposta em S (Slow / Lenta);
- b) Inserir o microfone no bocal do calibrador, firmemente encaixado e totalmente inserido no bocal do calibrador;
- c) Ligar o calibrador, selecione o valor de ruído de saída desejado;
- d) Se necessário, ajustar o parafuso de calibração localizado no orifício CAL do dosímetro até que o valor exibido no display seja o mesmo valor selecionado no calibrador; e
- e) Desligar o calibrador e retirar o microfone do bocal.

Figura 11 - Calibração do dosímetro DOS-500 com calibrador CAL-3000



Fonte: INSTRUTHERM (2007)

2.4.3 Equipamento de Proteção Individual

De acordo com 3M DO BRASIL (2011, p. 57) procura-se sempre reduzir ou extinguir o ruído em sua fonte com controles de engenharia, ou ainda, com medidas administrativas. Na impossibilidade de realizar a redução ou extinção do ruído, a maneira restante é a proteção do trabalhador de forma individual.

2.4.3.1 Protetores Auditivo tipo inserção moldável

De acordo com 3M DO BRASIL (2011, p. 60) são fabricados de espuma, com superfície lisa e adaptáveis ao canal auditivo do usuário. Suas principais características resumem-se a:

- a) Espuma macia;
- b) Cabelos e barbas não interferem na vedação;
- c) Ajustam-se aos canais auditivos;
- d) Adaptável com outros EPIs (como respiradores, óculos ou capacetes);
- e) Descartável e de baixo custo;
- f) Tamanho reduzido, guarda e transporte facilitados; e
- g) Confortável em ambientes quentes.

O modelo 1100, da fabricante 3M DO BRASIL, conforme Figura 12, é o modelo disponibilizado pela empresa ALPHA aos seus trabalhadores ou aos visitantes:

Figura 12 - Protetor auditivo moldável



Fonte: 3M DO BRASIL (2018)

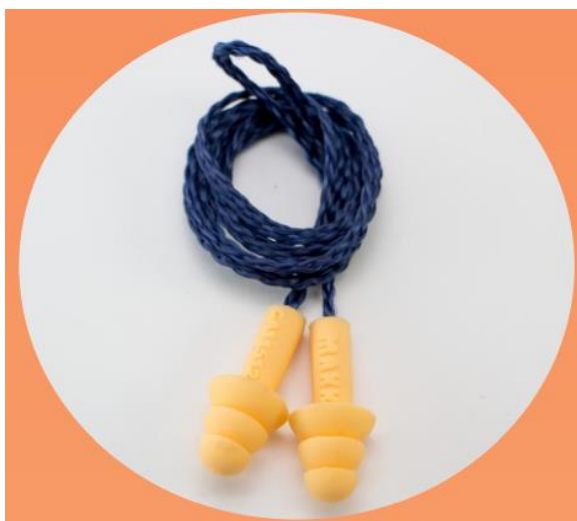
2.4.3.2 Protetores Auditivo tipo inserção pré-moldado

De acordo com 3M DO BRASIL (2011, p. 59) o protetor auditivo pré-moldado tem a forma próxima do moldável, geralmente com três anéis, fabricados em borracha, silicone ou correlatos. Suas principais características resumem-se a:

- a) Cabelos e barbas não interferem na vedação;
- b) Adaptável com outros EPIs (como respiradores, óculos ou capacetes);
- c) Descartável ou reutilizável;
- d) Tamanho reduzido, guarda e transporte facilitados; e
- e) Confortável em ambientes quentes.

O modelo MAXXI SILICONE, da fabricante MAXXI EPI, conforme Figura 13, é o modelo disponibilizado pela empresa ALPHA aos seus trabalhadores:

Figura 13 – Protetor auditivo de inserção pré-moldado



Fonte: MAXXI EPI (2016)

2.4.3.3 Protetores Auditivo tipo concha (abafador)

De acordo com 3M DO BRASIL (2011, p. 62-63) o protetor auditivo tipo concha é feito de plástico, com duas conchas revestidas com espuma e ligadas por um arco. As conchas são posicionadas sobre as orelhas do usuário e suas principais características são:

- a) Tamanho único;
- b) Fácil utilização e colocação rápida;
- c) Atenuação uniforme entre ouvidos;
- d) Partes substituíveis com peças de reposição disponíveis; e
- e) Podem ser utilizados em ouvidos doentes (quando autorizado por um médico).

O modelo “muffler”, da fabricante 3M DO BRASIL, conforme Figura 14, é o modelo disponibilizado pela empresa ALPHA aos seus trabalhadores:

Figura 14 - Abafador e abafador com capacete



Fonte: 3M DO BRASIL (2017)

2.4.3.4 Uso correto dos protetores auditivos

De acordo com a 3M DO BRASIL (2011, p. 69-70) para a devida utilização de qualquer um dos modelos, há a necessidade de um treinamento que deve ser ministrado ou contratado pelo empregador. O trabalhador deve ter ciência de como utilizar corretamente o equipamento e de sua obrigatoriedade de uso.

2.4.3.5 Tempo de uso real dos protetores auditivos

O protetor auditivo, bem como qualquer outro EPI indicado para redução dos efeitos

da exposição ocupacional, deve ser utilizado no período total, cujo qual o trabalhador está exposto ao agente ambiental. Contudo, devido a condições humanas, isso nem sempre ocorre na prática, pois o trabalhador pode sentir-se desconfortável, ou cansado, ou insatisfeito, e retirar momentaneamente seu EPI, mesmo ainda estando na área onde encontra-se o risco ocupacional.

De acordo com a 3M DO BRASIL (2011, p. 76) o trabalhador deve usar o protetor auditivo integralmente, enquanto perdurar a exposição ao ruído ocupacional. A retirada do EPI mesmo que por um curto espaço de tempo, pode levar a redução drástica da proteção estimada.

No mesmo contexto, apresenta-se o Quadro 5 que demonstra o quão importante é o uso correto e pelo tempo necessário do EPI, em questões de redução da eficiência da proteção em números percentuais:

Quadro 5 - Redução da atenuação do EPI em relação ao tempo de uso

% de tempo de Uso								
%	50%	75%	88%	94%	98%	99%	99,5%	100% *
dB	5	10	14	18	22	23	24	25
	5	9	13	16	18	19	19	20
	4	8	11	13	14	14	15	15
	3	6	8	9	10	10	10	10
	2	3	4	4	5	5	5	5
min.	240	120	60	30	10	5	2,5	0 **
Tempo de não uso na jornada de 8 horas, expresso em minutos								
* Atenuação nominal								
** Uso do EPI pelo tempo integral								

Fonte: Adaptado de 3M DO BRASIL (2011)

2.4.4 Atenuação ao ruído

Em relação a atenuação de ruído, espera-se que os equipamentos emitam o menor nível de pressão sonora possível. No entanto, a tecnologia, a engenharia e os materiais, tem suas evoluções, épocas, e nem sempre é possível reduzir os níveis às

condições que sejam salubres e incapazes de agredir a saúde humana. Ou seja, níveis inferiores a 80 dB(A).

Então, pode-se afirmar que a situação ideal é que exista um controle de ruído em sua fonte, mas como isso nem sempre é viável, a área de Engenharia de Segurança do Trabalho (EST) deve seguir uma ordem prioritária de controle, sendo como mais efetivo a extinção do risco e o menos efetivo o controle individual, conforme ilustra a Figura 15:

Figura 15 - Controle de Riscos



Fonte: USP (2020b, p. 108)

Segundo USP (2020b, p. 108) o controle de riscos por meio da hierarquia sempre deve ser observado. Contudo, não significa que a utilização do EPI não é satisfatória, mas sim, que traz a falha humana com ela, seja na retirada parcial da proteção ou não má colocação (uso incorreto).

De acordo com a 3M DO BRASIL (2011, p. 57) o controle do ruído é uma atividade que visa a proteção do trabalhador e pode ser classificada por três níveis básicos:

- a) Redução do ruído na fonte: modificar ou trocar os equipamentos, isolar

vibrações mecânicas, alterar processos produtivos ou manutenções de todas as naturezas;

- b) Redução do ruído na trajetória: modificar os ambientes incluindo materiais anti-vibrantes ou revestimentos absorventes, isolar o posto de trabalho, incluir barreiras ou enclausuramentos; e
- c) Redução do ruído no indivíduo: revezar os profissionais entre postos, funções e correlatos, automação dos equipamentos para operação remota, enclausuramento do trabalhador em cabine isolada acusticamente ou aplicação e uso correto do protetor auditivo.

Portanto, conforme exposto, o EPI deve ser sempre a última alternativa a ser indicada, mas em muitos casos é a única opção para garantir a redução dos riscos à saúde do trabalhador.

Segundo 3M DO BRASIL (2011, p. 78), sendo o EPI a escolha de proteção ao trabalhador, esta deve ser realizada por profissional da área de SST com base nas necessidades e na observação dos níveis de exposição ocupacional pelo qual trabalhador está submetido.

2.4.4.1 NRR

De acordo com a USP (2020a, p. 36) este método foi desenvolvido pelo NIOSH, sem a utilização do espectro de ruído e com um fator de confiança de 98%. Trata-se de um número que representa a atenuação do protetor e pode ser obtido através de um roteiro simplificado. Assim, com o ruído ambiente na curva de ponderação “C”, subtraindo-se o NRR, pode-se obter a exposição atenuada estimada na curva de ponderação “A”.

Com isso, apresenta-se a Equação 9 a seguir:

Equação 9 – Cálculo de atenuação: dB(C) para dB(A)

$$dB(C)_{ambiente} - NRR = dB(A)_{ouvido}$$

Fonte: USP (2020a)

Ainda, existe uma variação deste método para obter-se a exposição atenuada estimada utilizando somente a curva de ponderação “A”, através de correções a se fazer em relação ao protetor auditivo escolhido. Recomenda-se que os valores das atenuações indicadas pelos fabricantes e constantes nas embalagens sejam diminuídos conforme tipo de protetor auditivo conforme a seguir (3M DO BRASIL, 2011):

- a) 25% para protetores auditivos do tipo concha;
- b) 50% para protetores auditivos de espuma moldável; e
- c) 70% para protetores auditivos pré-moldados.

Portanto, conforme esta metodologia, utilizando a curva “A”, em dB(A):

- a) $(NRR - 7) \times 0,75$ para protetores auditivos do tipo concha;
- b) $(NRR - 7) \times 0,50$ para protetores auditivos do tipo moldável; e
- c) $(NRR - 7) \times 0,30$ para protetores auditivos do tipo pré-moldados.

Com isso, apresenta-se a Equação 10 a seguir:

Equação 10 - Cálculo de atenuação em dB(A)

$dB(A)_{ambiente} - (NRR - 7) = dB(A)_{ouvido}$

Fonte: USP (2020a)

2.4.4.2 NRRsf

De acordo com a USP (2020a, p. 39) para este método não há a necessidade de correções ou adaptações, exceto o ajuste de tempo efetivo de uso.

Segundo a 3M DO BRASIL (2011, p. 82) para calcular a atenuação estimada através do índice NRRsf basta subtrair-lo do valor nível de pressão sonora (ou nível médio), em dB(A), ao qual o trabalhador está exposto no desempenho de suas funções.

Com isso, apresenta-se a Equação 11 a seguir:

Equação 11 - Cálculo de atenuação com base no NRRsf

$$dB(A) - NRRsf = dB(A)_{ouvido}$$

Fonte: USP (2020a)

Segundo Fantazzini (2018, p. 96), para obter-se o NRRsf requerido de um EPI, levando-se em conta a questão das boas práticas e segurança do trabalhador, pode-se utilizar a Equação 12 a seguir:

Equação 12 - NRRsf requerido em função do Nível de Ação

$$NRRsf = L_{avg} - 80 [dB(A)]$$

Fonte: FANTAZZINI (2018)

Apresenta-se também, através do Quadro 6, os valores de NRRsf de alguns fabricantes e modelos de protetores auditivos encontrados na empresa ALPHA:

Quadro 6 - Atenuação em dB: Protetores auditivos

Tipo	Moldável	Pré-moldado		Concha (abafador)	
Fabricante	3M	MAXXI	3M	AGENA	3M
NRRsf	16	18	18	18	21

Fonte: 3M DO BRASIL, AGENA, MAXXI. Acesso em: 18 ago. 2021

Por fim, acrescenta-se que há a possibilidade de utilizar-se mais de um dos tipos de protetores auditivos. No entanto, não basta simplesmente somar os valores de NRRsf, sendo que, o correto é que esta combinação seja ensaiada em laboratório, passando pelos mesmos critérios exigidos pela norma ANSI S12.6/1997–parte B. Foi realizado um teste com dois modelos combinados da 3M, um de inserção moldável e um tipo concha, chegando à atenuação combinada de 27 dB em NRRsf (3M DO BRASIL, 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 EMPRESA ALPHA

A EMPRESA ALPHA é uma planta química, dividida em alguns prédios em seu platô.

Cada um dos prédios, apesar de próximos, possui sua própria central de utilidades com fornecimento de condicionamento de ar industrial, ar comprimido e energia elétrica de emergência. Destes prédios, 7 (sete) possuem grupos geradores de emergência.

Uma das várias rotinas executadas pela equipe da manutenção industrial é a manutenção preventiva dos grupos geradores de emergência dos prédios, verificando seu funcionamento e seus parâmetros de operação como: tensão, corrente, componentes principais, pressão de óleo, condição do óleo, nível de óleo e combustível, ou afins, conforme definição dos fabricantes ou da própria manutenção industrial da EMPRESA ALPHA. Estas manutenções dos grupos ocorrem semanalmente, concentradas em um único dia, com duração média de 25 (vinte e cinco) minutos por grupo, sendo destes, aproximadamente 15 (quinze) minutos com os grupos geradores em funcionamento.

Então, a empresa autorizou a realização do estudo de dosimetria para a verificação da exposição ao ruído ocupacional, dos profissionais, na manutenção preventiva dos grupos geradores de energia elétrica de emergência, efetuada semanalmente, nos 07 (sete) grupos, em um único dia por semana.

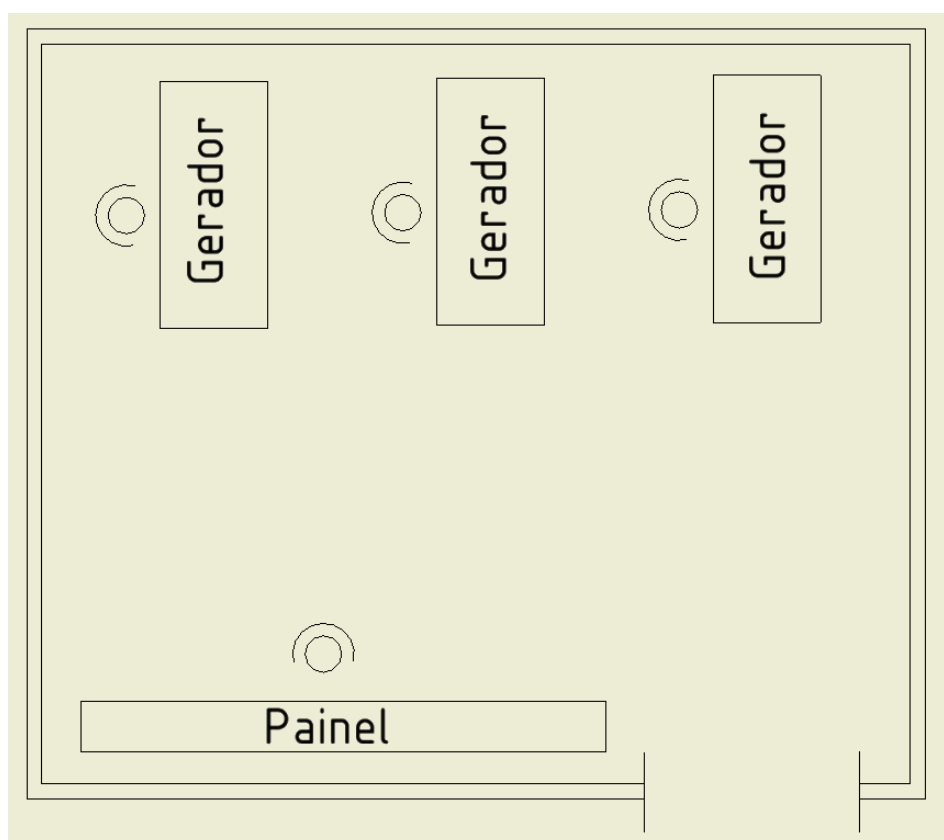
Para tanto, a EMPRESA ALPHA ainda forneceu os equipamentos: dosímetro, calibrador acústico e trena a laser.

Os layouts que serão apresentados foram feitos pelo autor, na forma de rascunho, utilizando dimensões totais de altura, largura e comprimento da sala de máquinas, as quais, os grupos geradores estão instalados, com o intuito de apenas mostrar a localização do mantenedor no momento da realização dos testes.

3.1.1 Grupos Geradores: Prédio A

O Prédio “A” possui 3 (três) grupos geradores, fabricados há mais de 20 (vinte) anos, com motores de 535 hp. A Figura 16 a seguir mostra o rascunho do layout da sala de máquinas, onde o círculo com semicírculo ilustra as posições onde o mantenedor estava durante as inspeções listadas na manutenção dos equipamentos.

Figura 16 - Rascunho de layout do Prédio A

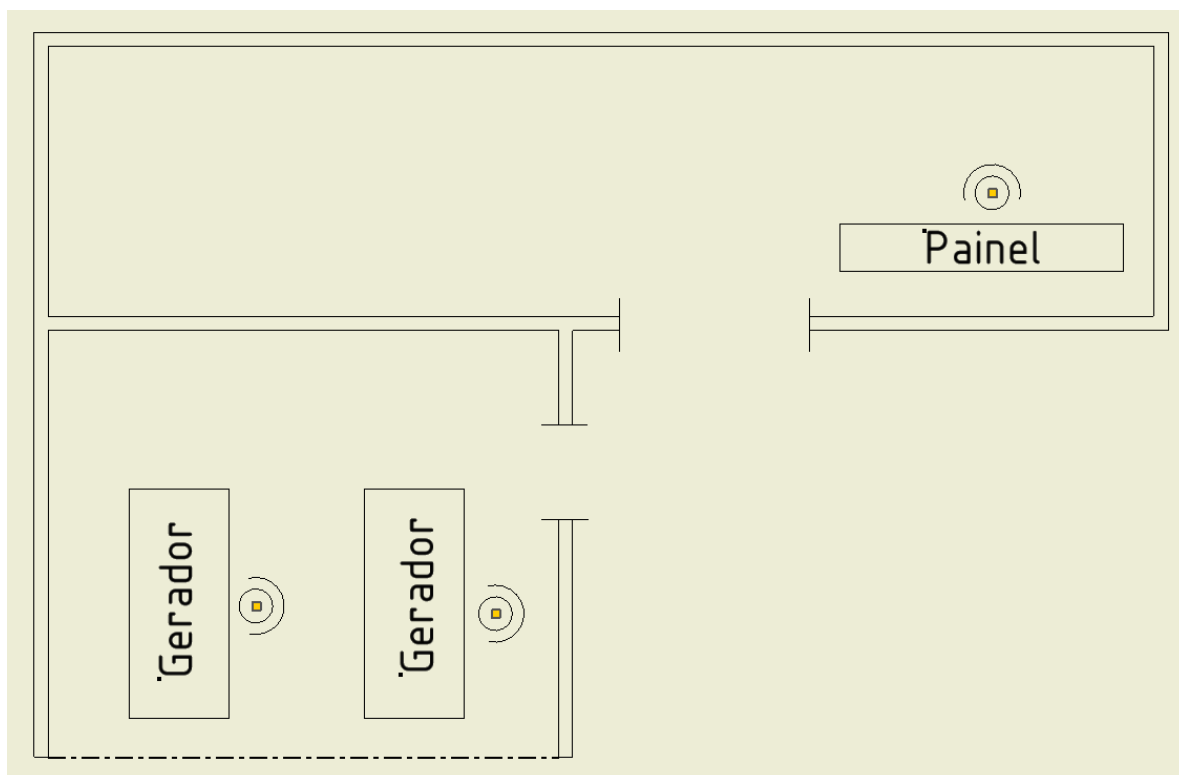


Fonte: Arquivo pessoal (2021).

3.1.2 Grupos Geradores: Prédio B

O Prédio “B” possui 2 (dois) grupos geradores, fabricados há mais de 20 (vinte) anos, com motores de 535 hp. A Figura 17 a seguir mostra o rascunho do layout da sala de máquinas, onde o círculo com semicírculo ilustra as posições onde o mantenedor estava durante as inspeções listadas na manutenção dos equipamentos.

Figura 17 - Rascunho de layout do Prédio B



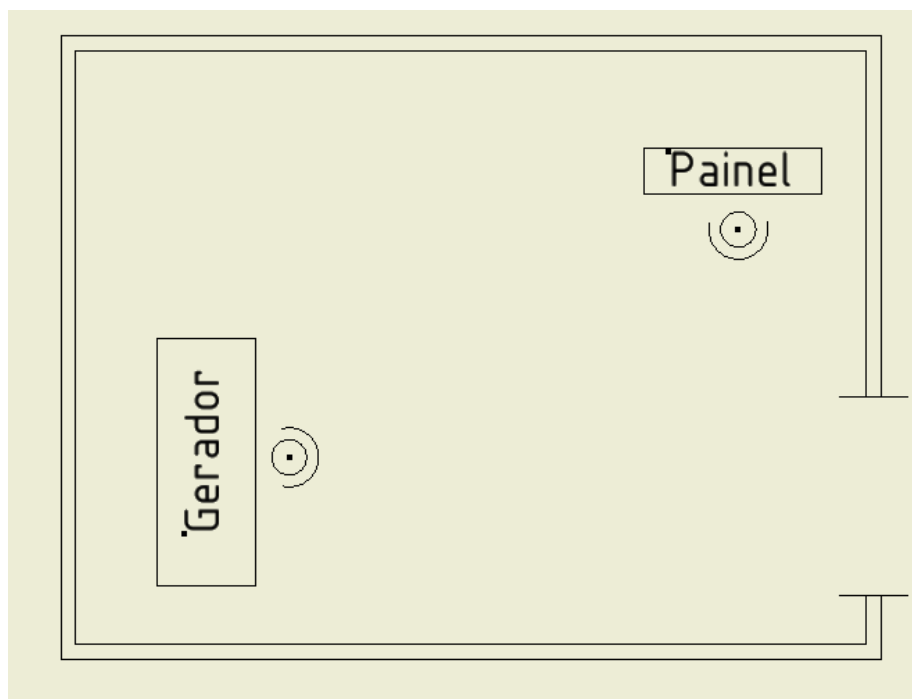
Fonte: Arquivo pessoal (2021).

É importante ressaltar que neste prédio o painel elétrico de comando e controle dos grupos geradores encontra-se fisicamente instalado em outra sala. Então o mantenedor manteve-se em deslocamento constante durante a inspeção para verificar os parâmetros de funcionamento durante a inspeção.

3.1.3 Grupo Gerador: Prédio C

O Prédio “C” possui 1 (um) grupo gerador, fabricado há mais de 20 (vinte) anos. A Figura 18 a seguir mostra o rascunho do layout da sala de máquinas, onde o círculo com semicírculo ilustra as posições onde o mantenedor estava durante as inspeções listadas na manutenção do equipamento.

Figura 18 - Rascunho de layout do Prédio C

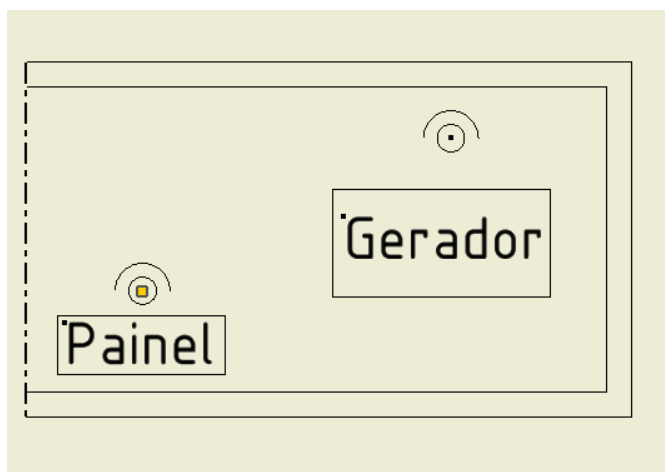


Fonte: Arquivo pessoal (2021).

3.1.4 Grupo Gerador: Prédio D

O Prédio "D" possui 1 (um) grupo gerador, fabricado há mais de 10 (dez) anos, com motor de 2.607 cilindradas. A Figura 19 a seguir mostra o rascunho do layout da sala de máquina, onde o círculo com semicírculo ilustra as posições onde o mantenedor estava durante as inspeções listadas na manutenção do equipamento.

Figura 19 - Rascunho de layout do Prédio D



Fonte: Arquivo pessoal (2021).

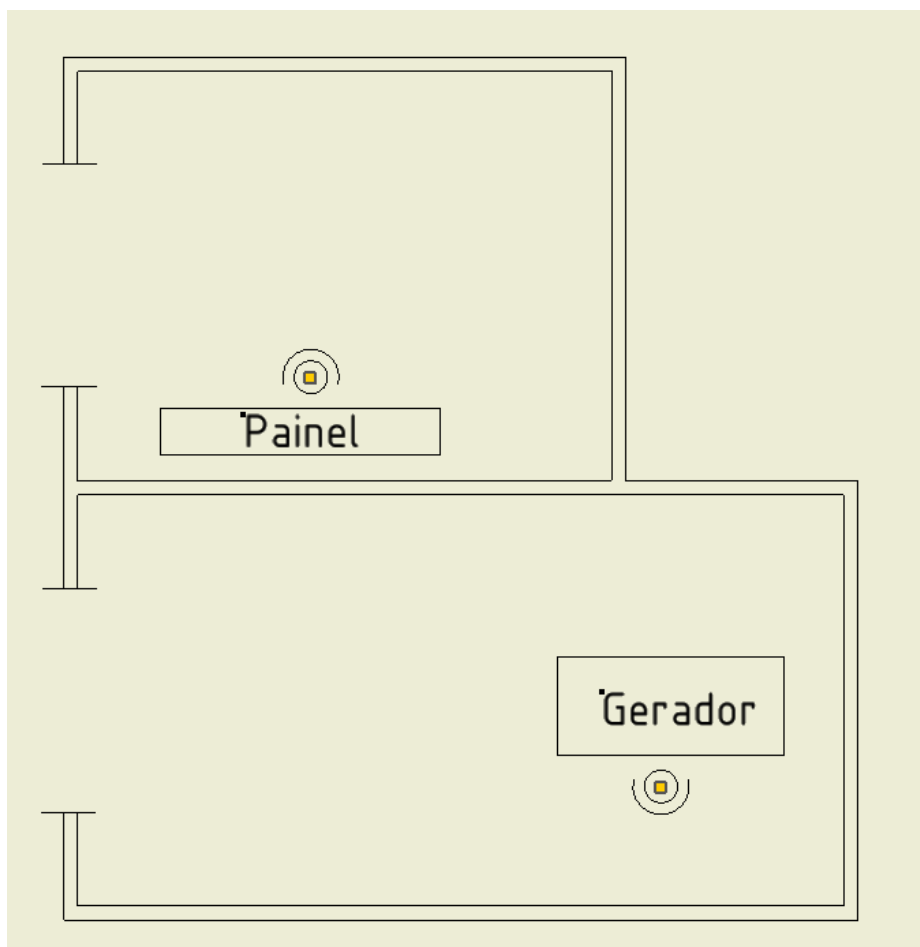
3.1.5 Grupo Gerador: Prédio E

O Prédio “E” possui 1 (um) grupo gerador, fabricado há mais de 10 (dez) anos. O modelo possui enclausuramento contra intempéries e fica localizado na área externa do prédio. O painel de controle e comando fica junto a máquina. Desta forma, não há a necessidade de produzir um layout, pois o equipamento encontra-se em área aberta.

3.1.6 Grupos Geradores: Prédio F

O Prédio “F” possui 1 (um) grupo gerador, fabricado há mais de 20 (vinte) anos, com motor de 535 hp. A Figura 20 a seguir mostra o rascunho do layout da sala de máquina, onde o círculo com semicírculo ilustra as posições onde o mantenedor estava durante as inspeções listadas na manutenção dos equipamentos.

Figura 20 - Rascunho de layout do Prédio F

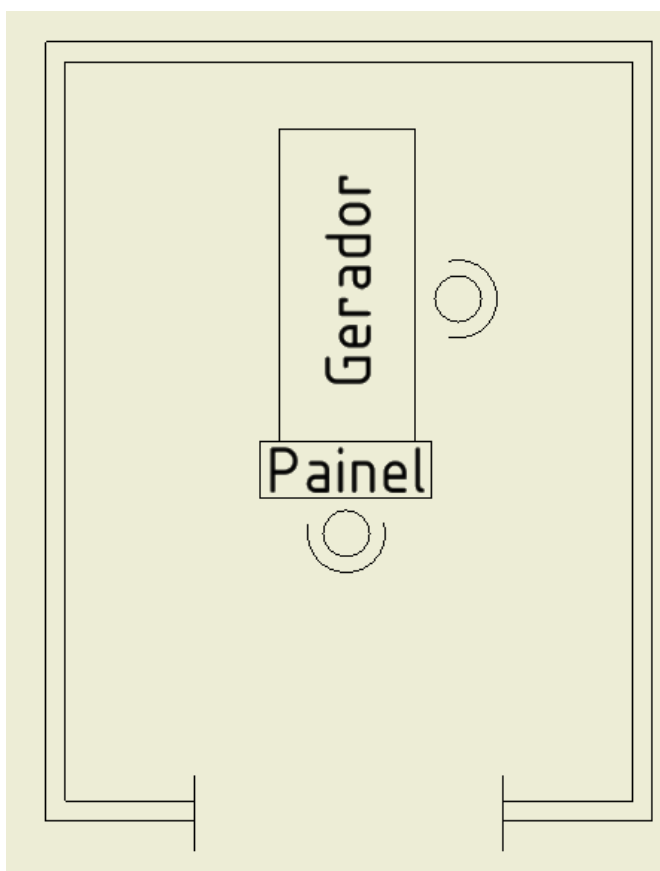


Fonte: Arquivo pessoal (2021).

3.1.7 Grupos Geradores: Prédio G

O Prédio “G” possui 1 (um) grupo gerador, fabricado há mais de 5 (cinco) anos. A Figura 21 a seguir mostra o rascunho do layout da sala de máquina, onde o círculo com semicírculo ilustra as posições onde o mantenedor estava durante as inspeções listadas na manutenção dos equipamentos.

Figura 21 - Rascunho de layout do Prédio G



Fonte: Arquivo pessoal (2021).

3.1.8 Rotina de Trabalho: Manutenção dos Grupos Geradores

Semanalmente, em um único dia, é realizada a manutenção preventiva dos grupos geradores da empresa ALPHA. Tal serviço é realizado em dupla, por exigência da NR 10, sendo estes dois trabalhadores um técnico em eletrotécnica e um ajudante.

A manutenção ocorre por ordem de importância dos grupos geradores, sendo que, se a equipe encontra uma falha durante a inspeção, imediatamente comunicam a supervisão para que a equipe de manutenção corretiva atue na falha.

A empresa ALPHA possui o horário de funcionamento de 8 (oito) horas diárias, com 1 (uma) hora de refeição. Os trabalhadores chegam, colocam seus uniformes nos vestiários, dentro do setor de manutenção industrial, tomam café da manhã em um pequeno refeitório no mesmo local, separam suas ferramentas, pegam suas ordens de serviço de manutenção e deslocam-se aos prédios onde os equipamentos estão para as respectivas manutenções.

Ao final do dia, os trabalhadores voltam ao setor de manutenção, tomam um banho no vestiário, colocam suas roupas pessoais e ficam prontos para voltar às suas casas. Ou seja, a rotina efetiva de trabalho dos mantenedores da empresa ALPHA é de aproximadamente 7 (sete) horas diárias de trabalho efetivo (descontado os tempos de trocas de roupas e café da manhã).

3.2 DOSÍMETRIA

3.2.1 Seleção do trabalhador avaliado

Em 19 de julho de 2021, dois dias antes da realização do primeiro teste, o avaliador esteve na empresa ALPHA para conversar com ambos os profissionais e com o supervisor da manutenção elétrica. Verificou-se que o técnico em eletrotécnica era o indivíduo com a maior exposição ocupacional ao ruído e, portanto, ficou acordado que o medidor integrador de uso pessoal seria fixado nele no dia da medição.

O avaliador e o supervisor explicaram ao técnico que a medição se tratava de um estudo para medir sua exposição ocupacional ao ruído. O avaliador mostrou a ele o medidor ocupacional, suas funções básicas, bem como, suas formas de funcionamento para tranquilizá-lo e informá-lo sobre os benefícios do teste.

3.2.2 Equipamentos

O calibrador, o dosímetro e a trena laser, receberam pilhas e baterias novas para a realização do teste. O avaliador providenciou também um cronometro para registrar alguns intervalos de tempo durante o teste.

3.2.3 Dosimetria realizada em 21 de julho de 2021

O avaliador chegou no local para a preparação dos equipamentos e realização da avaliação. Todos os equipamentos estavam íntegros e em boas condições de funcionamento.

Os dados imputados no dosímetro foram de:

- a) O equipamento é do circuito de ponderação (A), dB(A);
- b) Foi selecionado o circuito de resposta lenta ou “slow” (S);
- c) Foi configurado o critério de referência de 85 dB(A), correspondente a 100% de dose, conforme NR 15, anexo 1;
- d) Foi configurado o limiar de integração de 80 dB(A); e
- e) Foi selecionado o incremento de duplicação de $q=5$, conforme NR 15, anexo 1.

A calibração ocorreu pouco antes do dosímetro ser fixado no mantenedor. Verificou-se que o ruído de fundo no setor de manutenção apresentava nível abaixo de 80 dB(A). Portanto, optou-se pela calibração à 94 dB. O procedimento ocorreu conforme manual do fabricante e detalhado a seguir:

- a) A capa protetora do microfone foi retirada;
- b) O microfone foi inserido totalmente no bocal do calibrador;
- c) O calibrador foi ligado a um nível de pressão sonora de 94 dB, a 1.000Hz;
- d) O dosímetro foi ajustado para 94 dB, calibrando-o, conforme subitem 2.4.2.3 deste estudo; e
- e) Por fim, o calibrador foi retirado e desligado, a capa protetora do microfone reposta.

Com os equipamentos prontos, o avaliador possuía também material para anotações de suas considerações, sendo que, todos os dados colhidos no experimento foram anotados para a confecção do trabalho.

O técnico em eletrotécnica chegou por volta das 08h25min. O microfone foi posicionado em sua zona auditiva, fixado na “gola” de seu jaleco e pontualmente as 08h30min, o dosímetro, já configurado foi acionado para início da avaliação e seu teclado bloqueado. As sobras de cabo do microfone foram fixadas para não atrapalhar o profissional e o display do dosímetro estava indicando os valores de níveis sonoros instantâneos registrados. O avaliador, o técnico e o ajudante, estavam com óculos de proteção, sapato de segurança e protetor auditivo do tipo concha (abafador).

Saindo do setor de manutenção, houve a locomoção do técnico em eletrotécnica que estava dirigindo o caminhão com cesta área isolada. Junto com ele estavam seu ajudante e o avaliador. A locomoção até o prédio “A” durou cinco minutos.

No prédio “A” a primeira inspeção foi iniciada, os grupos geradores foram ligados após alguns minutos e mantiveram-se em funcionamento por 15min e 43seg. Neste período, o avaliador aproximou-se apenas para medir o local, coletar informações dos grupos geradores e verificar se o dosímetro estava funcionando devidamente. Bem próximo aos grupos geradores, o avaliador coletou uma medida instantânea de nível de ruído de 108 dB(A). O avaliador manteve-se a aproximadamente dez metros de distância dos profissionais durante a manutenção, observando seu trabalho, sem interferir em nada, deixando-os à vontade.

Após término da manutenção do prédio “A”, a equipe seguiu para o prédio “B”. A locomoção com o caminhão oito minutos. Os mesmos procedimentos foram cumpridos, o avaliador manteve-se a dez metros de distância, aproximou-se para medir o local, coletar informações dos grupos geradores e verificar se o dosímetro estava funcionando devidamente. Bem próximo aos grupos geradores, o avaliador coletou uma medida instantânea de nível de ruído de 109 dB(A). Os grupos geradores mantiveram-se em funcionamento por 17min e 46seg.

Após término da manutenção do prédio “B”, a equipe seguiu para o prédio “C”. A locomoção com o caminhão dez minutos. Os mesmos procedimentos foram cumpridos, o avaliador manteve-se a dez metros de distância, aproximou-se para medir o local, coletar informações do grupo gerador e verificar se o dosímetro estava funcionando devidamente. Bem próximo ao grupo gerador, o avaliador coletou uma medida instantânea de nível de ruído de 116 dB(A). O grupo gerador manteve-se em funcionamento por 14min e 44seg.

Após término da manutenção do prédio “C”, a equipe seguiu para o setor de manutenção. O técnico e seu ajudante preencheram com calma todos os coletados em suas primeiras manutenções e prepararam-se para o horário de almoço. O avaliador “parou” a contagem de tempo/dose do instrumento, colocou o mesmo em um local seguro e sem risco de interferências. Todos foram almoçar.

Após o almoço, a equipe saiu do setor de manutenção e seguiu para o prédio “D”. A locomoção com o caminhão três minutos. Os mesmos procedimentos foram cumpridos, o avaliador manteve-se a dez metros de distância, aproximou-se para medir o local, coletar informações do grupo gerador e verificar se o dosímetro estava funcionando devidamente. Bem próximo ao grupo gerador, o avaliador coletou uma medida instantânea de nível de ruído de 98 dB(A). O grupo gerador manteve-se em funcionamento por 16min e 14seg.

Após término da manutenção do prédio “D”, a equipe seguiu para o prédio “E”. A locomoção com o caminhão dois minutos. Os mesmos procedimentos foram cumpridos, o avaliador manteve-se a dez metros de distância, aproximou-se coletar informações do grupo gerador e verificar se o dosímetro estava funcionando devidamente. Bem próximo ao grupo gerador, o avaliador coletou uma medida instantânea de nível de ruído de 95 dB(A). O grupo gerador manteve-se em funcionamento por 16min e 26seg.

Após término da manutenção do prédio “E”, a equipe seguiu para o prédio “F”. A locomoção com o caminhão seis minutos. Os mesmos procedimentos foram cumpridos, o avaliador manteve-se a dez metros de distância, aproximou-se coletar

informações do grupo gerador e verificar se o dosímetro estava funcionando devidamente. Bem próximo ao grupo gerador, o avaliador coletou uma medida instantânea de nível de ruído de 106 dB(A). O grupo gerador manteve-se em funcionamento por 15min e 18seg.

Após término da manutenção do prédio “F”, a equipe seguiu para o prédio “G”. A locomoção com o caminhão sete minutos. Infelizmente o grupo gerador do prédio “G” estava fora de operação devido a uma falha e, portanto, não pôde ser verificado. A equipe então, voltou ao setor de manutenção. O técnico e o ajudante preencheram as outras ordens de serviço com calma e pontualmente as 16h30min, o avaliador “parou” definitivamente o teste. Os dados foram anotados, a calibração foi verificada e o teste validado.

3.2.4 Dosimetria realizada em 18 de agosto de 2021

Como foi evidenciado, no primeiro dia de teste, não foi possível medir a real exposição do trabalhador porque o gerador do prédio “G” estava parado. Então, o avaliador solicitou uma nova visita para terminar o estudo, mesmo que parcialmente verificando apenas a dosimetria do prédio “G”. A nova visita foi autorizada e agendada para 18 de agosto de 2021.

Contudo, como o avaliador teve a oportunidade de acompanhar a rotina diária integral dos dois mantenedores de grupos geradores e verificou pessoalmente quais são os potenciais maiores riscos, resolveu mudar a abordagem no segundo dia de testes, realizando dosimetrias parciais, uma para cada grupo gerador, com o intuito de constatar qual é o grupo gerador de maior risco e possibilitar (se fosse necessário) uma estratégia à empresa ALPHA de dividir as manutenções e dois dias, sabendo-se qual a dose de exposição seria devida a cada grupo gerador.

Vale ressaltar que, o avaliador, com base em sua verificação profissional, constatou que as movimentações através do caminhão e as rotinas no setor de manutenção, possuem doses provavelmente desprezíveis ou pouco impactantes na dose diária dos

trabalhadores, pois o dosímetro permaneceu com o teclado bloqueado na função de nível de pressão sonora, apresentando valores inferiores a 80 dB(A).

Aqui vale registrar, para que este estudo não fique repetitivo, que todas as avaliações parciais (prédio a prédio) ocorreram da mesma maneira, com os mesmos procedimentos realizados no primeiro dia, os complementos resumem-se:

- a) Foi verificado prédio a prédio o ruído de fundo, sendo que apenas no prédio “A”, o ruído era de 82 dB(A), ainda inferior a 94dB e, portanto, todas as calibrações ocorram nas salas de máquinas utilizando 94 dB de referência no calibrador;
- b) Evidentemente o somatório de tempo final foi menor do que o primeiro dia, pois o avaliador procurou evidenciar os pontos críticos da rotina;
- c) A avaliação iniciou quando todos chegaram até as salas de máquinas. Contudo, os equipamentos são ligados por um curto período de tempo. Portanto, serão apresentados através do Quadro 7 o tempo de avaliação e o tempo de funcionamento de cada grupo gerador;

Quadro 7 - Tempos das dosimetrias: 18 de agosto de 2021

Tempo da avaliação		
Prédio	Grupo gerador em funcionamento	Total
A	15min.18seg.	22min.
B	17min.50seg.	29min.
C	15min.17seg.	22min.
D	13min.33seg.	18min.
E	11min.42seg.	14min.
F	12min.35seg.	19min.
G	16min.40seg.	21min.
Totais	102min.55seg.	145min.

Fonte: Arquivo pessoal (2021).

- d) No prédio “G” o avaliador aproximou-se durante a dosimetria para verificar o

funcionamento do equipamento e constatou um ruído de 100 dB(A) quando o técnico estava próximo do grupo gerador;

- e) A equipe estava utilizando protetor tipo concha, sapato e óculos de proteção; e
- f) O avaliador acompanhou todas as dosimetrias de uma distância média de dez metros, deixando os trabalhadores exercerem suas funções normalmente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ressalta-se que, conforme exposto anteriormente, todos os dados coletados foram anotados pelo avaliador e apresentados neste capítulo.

4.1 DOSÍMETRIAS

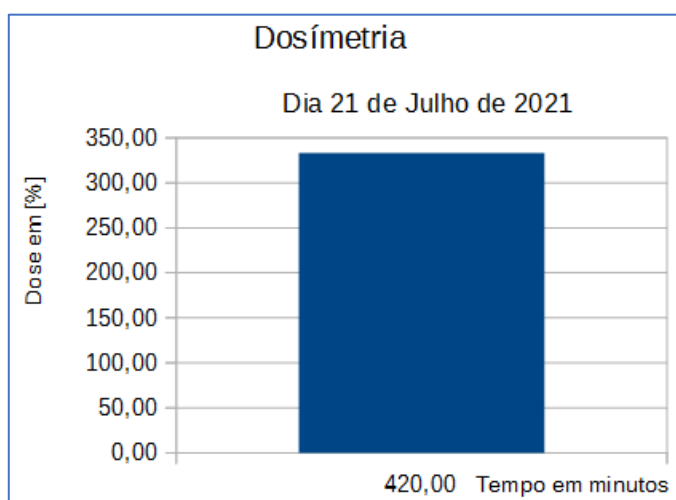
A primeira dosimetria ocorreu com sucesso e os dados coletados estão expostos no Quadro 8 e no Gráfico 3, a seguir:

Quadro 8 - Dados compilados do primeiro dia de dosimetria

Prédio	Tempo		Dose [%]	Calibração
	Dosimetria	G. G. ligados		
A	420min	15min.43seg.	333,16	- 0,4
B		17min.46seg.		
C		14min.44seg.		
D		16min.14seg.		
E		16min.26seg.		
F		15min.18seg.		
G		-		
Totais	420min	96min.11seg.	333,16%	- 0,4 dB(A)

Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Gráfico 3 - Dosimetria realizada em 21 de julho de 2021



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

O segundo dia de dosimetria ocorreu de forma diferente do primeiro. O avaliador decidiu coletar uma dosimetria de cada prédio, verificando as doses por prédio, auxiliando na estratégia de controle pós estudo.

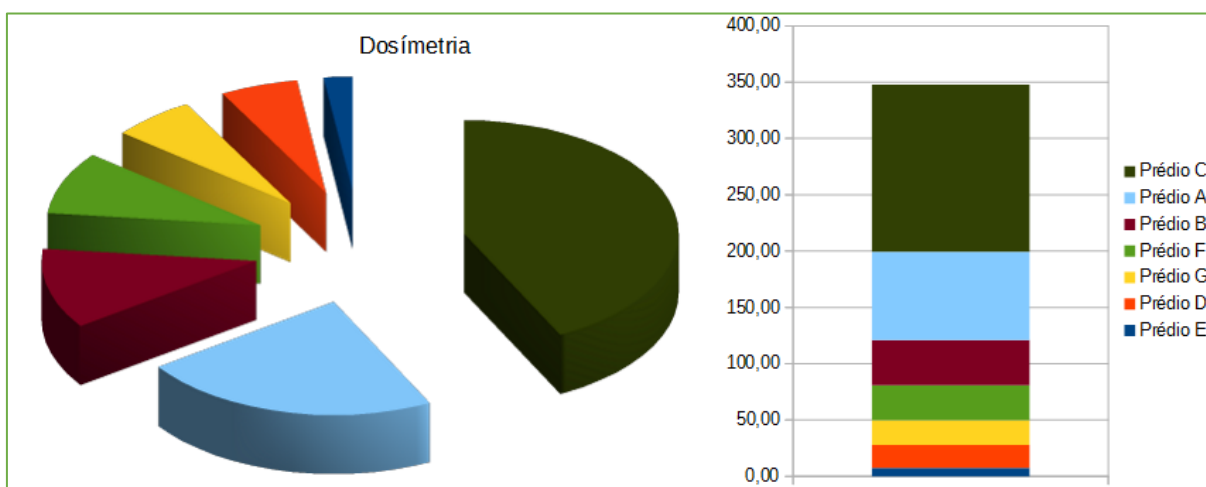
Desta forma, os dados compilados estão expostos no Quadro 9 e no Gráfico 4:

Quadro 9 - Dados compilados do segundo dia de dosimetria

Prédio	Tempo		Dose [%]	Diferença da Calibração
	Dosimetria	Grupos Geradores em funcionamento		
A	22min.	15min.18seg.	78,72	- 0,1 dB(A)
B	29min.	17min.50seg.	39,86	- 0,2 dB(A)
C	22min.	15min.17seg.	148,1	- 0,2 dB(A)
D	18min.	13min.33seg.	20,42	- 0,2 dB(A)
E	14min.	11min.42seg.	7,52	+ 0,2 dB(A)
F	19min.	12min.35seg.	31,14	0,0 dB(A)
G	21min.	16min.40seg.	21,88	+ 0,1 dB(A)
Totais	145min.	102min.55seg.	347,64%	-

Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Gráfico 4 - Dosimetrias realizadas em 18 de agosto de 2021



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

4.2 ANALISE DOS DADOS

4.2.1 Doses

Comparando as dosimetrias realizadas em 21 de julho e 18 de agosto de 2021, conforme o Quadro 10, pode-se verificar que o julgamento profissional do avaliador era plausível, pois somadas as doses dos prédios “A” até “F”, das dosimetrias do segundo dia, o valor é de 325,76% apresentado proximidade ao valor de 333,16% do primeiro dia.

Quadro 10 - Comparativo de doses

Prédio	21/07/21	18/08/21	
	Dose [%]	Dose [%]	Dose Acumula-da [%]
A	333,16	78,72	78,72
B		39,86	118,58
C		148,10	266,68
D		20,42	287,10
E		7,52	294,62
F		31,14	325,76
G	Falha	21,88	347,64
Totais	333,16	347,64	

Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Na sequência, o Quadro 11 apresenta de forma completa os dados coletados:

Quadro 11 - Comparativo detalhado com doses e tempos

Prédio	21 de julho de 2021			18 de agosto de 2021			
	Tempo da Dosimetria [min]	Tempo com Equipamento em funcionamento [min]	Dose [%]	Tempo da Dosimetria [min]	Tempo com Equipamento em funcionamento [min]	Dose [%]	Dose Acumulada [%]
E	420,00	16,43	333,16	14,00	11,70	7,52	7,52
D		16,23		18,00	13,55	20,42	27,94
G		-		21,00	16,67	21,88	49,82
F		15,30		19,00	12,58	31,14	80,96
B		17,77		29,00	17,83	39,86	120,82
A		15,72		22,00	15,30	78,72	199,54
C		14,73		22,00	15,28	148,10	347,64
Totais	420,00	96,18	333,16	145,00	102,92	347,64	

Fonte: Arquivo pessoal (2021)

4.2.2 Níveis médios de pressão sonora: L_{avg}

O Quadro 12 apresenta os cálculos de L_{avg} considerando os tempos em que os grupos geradores estavam em funcionamento:

Quadro 12 - L_{avg} baseado nos tempos de funcionamento dos Grupos Geradores

Prédio	18/08/21		
	Tempo com Equipamento em funcionamento [min]	Dose [%]	L_{avg} [dB(A)]
A	15,30	78,72	108
B	17,83	39,86	102
C	15,28	148,10	113
D	13,55	20,42	99
E	11,70	7,52	93
F	12,58	31,14	103
G	16,67	21,88	98
Totais	102,92	347,64	105

Fonte: Arquivo pessoal (2021)

O Quadro 13 apresenta os cálculos de L_{avg} considerando os tempos das dosimetrias:

Quadro 13 - L_{avg} baseado nos tempos das dosimetrias

Prédio	18/08/21		
	Tempo da Dosimetria [min]	Dose [%]	L_{avg} [dB(A)]
A	22,00	78,72	106
B	29,00	39,86	99
C	22,00	148,10	110
D	18,00	20,42	97
E	14,00	7,52	92
F	19,00	31,14	100
G	21,00	21,88	97
Totais	145,00	347,64	103

Fonte: Arquivo pessoal (2021)

O Quadro 14 apresenta os cálculos de L_{avg} considerando os tempos totais dos dois dias de experimento:

Quadro 14 - L_{avg} dos tempos totais

Parâmetro	Tempo em minutos	Dose [%]	L_{avg}
Total da dosimetria em 21/07/2021	420	333,16	95 dB(A)
G.G. ligados em 21/07/2021	96,18		105 dB(A)
Total da dosimetria em 18/08/2021	145	347,64	103 dB(A)
G.G. ligados em 18/08/2021	102,92		105 dB(A)

Fonte: Arquivo pessoal (2021)

4.2.3 Doses estimadas considerando o uso do protetor auditivo

Conforme dados expostos até aqui, é possível verificar que ao se considerar os dados de tempo coletados com os Grupos Geradores ligados, obtêm-se os mesmos valores de L_{avg} para os dois dias de amostra. Isso ocorre por dois motivos principais:

- No dia em que os mantenedores estão dedicados a manutenção dos Grupos Geradores, o funcionamento destas máquinas impacta consideravelmente na dose de ruído que ambos recebem; e
- O fato do Grupo Gerador do prédio “G” não ter sido analisado no primeiro dia, não causou grandes alterações ao estudo em ambos os dias, pois conforme apresentado no Gráfico 4, existem quatro grupos geradores com níveis de pressão sonora mais elevados e mais impactantes na dose final.

Portanto, com foco na saúde do trabalhador e nas boas práticas de saúde e segurança do trabalho, utilizou-se os dados coletados de forma parcial no segundo dia para calcular as doses estimadas recebidas pelos mantenedores que utilizavam protetores auditivos nas ocasiões. Então, o Quadro 15 a seguir considera as atenuações de

alguns protetores aditivos e traz a estimativa da dose recebida pelos trabalhadores:

Quadro 15 - Cálculo estimado da dose atenuada pelos protetores auditivos

Prédio	Lavg [dB(A)]	Tempo em minutos	Dose [%] estimada com uso de protetores auditivos		
			Moldável ou pré-moldado NRRsf = 18dB	Concha NRRsf = 21dB	Combinado: Moldável + Concha NRRsf = 27dB
A	108	15,30	6,38%	4,25%	3,19%
B	102	17,83	3,72%	3,72%	0,00%
C	113	15,28	12,74%	8,49%	3,64%
D	99	13,55	2,82%	0,00%	0,00%
E	93	11,70	0,00%	0,00%	0,00%
F	103	12,58	2,62%	2,62%	0,00%
G	98	16,67	1,74%	0,00%	0,00%
Totais	105	102,92	28,59%	21,44%	0,00%

Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Com base em todos os dados obtidos e tudo que foi visto até agora, pode-se afirmar:

- O Grupo Gerador do prédio “C” emite ruído considerado IPVS, caso o trabalhador esteja sem nenhuma proteção;
- Com o uso correto de protetores auditivos, conforme estimativas calculadas, com base nas normas e literatura apresentada, a situação da manutenção semanal de grupos geradores da empresa ALPHA é salubre; e
- Não há a necessidade nem mesmo de dividir as manutenções em dias distintos, pois o simples uso dos protetores auditivos mais simples, leva a dose atenuada estimada para valores inferiores ao do nível de ação.

5 CONCLUSÃO

Pode-se dizer que é de extrema importância o acompanhamento do profissional durante a dosimetria ou qualquer que seja o estudo relacionado da área de Higiene Ocupacional ou de Saúde e Segurança do Trabalho, pois se o avaliador recebesse apenas os valores totais deste estudo, realizados no primeiro dia, teria uma situação de L_{avg} de 95 dB(A), quando o mais correto seria a utilização do tempo real de funcionamento dos equipamentos, indicando um L_{avg} de 105 dB(A) (cerca de 10 dB(A) de diferença).

Outro ponto importante foi que imprevistos acontecem, e nem sempre o profissional tem a oportunidade de repetir o estudo, como por exemplo, no primeiro dia de avaliação a falha do Grupo Gerador do prédio “G”.

Em suma, o profissional de HO e SST deve sempre manter-se atualizado e, na medida do possível, preparado para situações imprevistas que possam ocorrer no exercício de sua profissão.

REFERÊNCIAS

ACGIH, Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais. **Limites de Exposição Ocupacional (TLVs) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos & Biológicos de Exposição (BEIs)**. Tradução da Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais. 2019.

AGENA. **Ficha Técnica – Abafador de ruído tipo concha - ATR**: catalogo. Rio de Janeiro. 2015. Catálogo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.462** – Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro. ABNT: 1994.

_____. **NBR ISO 8528** – Grupos geradores de corrente alternada, acionados por motores alternativos de combustão interna. Rio de Janeiro. ABNT: 2020a.

_____. **NBR 16076** – Equipamento de proteção individual – Protetores auditivos – Medição de atenuação de ruído com métodos de orelha real. Rio de Janeiro. ABNT: 2020b.

_____. **NBR 16077** – Equipamento de proteção individual – Protetores auditivos – Medição de cálculo do nível de pressão sonora na orelha protegida. Rio de Janeiro, ABNT: 2021.

BLOG FORNELL. **Sensor ultrassônico HC-SR04**. Disponível em: <<https://blog.fornell.com.br/2020/01/14/sensor-ultrassonico-hc-sr04/>>. Acesso em: 06 ago. 2021.

BONJORNO, R. A. et al. **Física completa: volume único, ensino médio**. 2a ed. São Paulo. Editora FTD, 2001. 551p.

BRANCO FILHO, G. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**.

Rio de Janeiro. Editora Ciência Moderna Ltda., 2008. 258p.

BREVIGLIERO, E.; POSSEBON, J.; SPINELLI, R. **Higiene Ocupacional: agentes biológicos, químicos e físicos**. 8a ed. São Paulo. Editora Senac São Paulo, 2015. 453p.

COSTA, E. A. Erros e acertos: Diretrizes para avaliação da audição em trabalhadores. **Revista Proteção**, Novo Hamburgo, v. 32, n. 327, p. 76-81, mar. 2019.

CUMMINS. **Manual de Aplicação: Grupos Geradores Arrefecidos a Água**: catalogo. Guarulhos. 2002. Catalogo técnico de operação.

_____. **Grupos Geradores acionados por Motor Diesel**: catálogo. Guarulhos. 2007. Catálogo técnico do Gerador modelo C400D6.

_____. **Soluções de Energia – Grupos Geradores e Sistemas de Energia que se integram às suas necessidades**: catálogo. Guarulhos. 2015. Catalogo técnico de seleção de equipamentos.

CUNHA, I. A. Em busca da medida certa. **Revista Proteção**, Novo Hamburgo, v. 32, n. 324, p. 10-14, dez. 2018.

ECOSILENZIO. **Como fazer uma avaliação de ruído**. Disponível em: <<http://www.ecosilenzio.com.br/blog/ler/como-fazer-a-avaliacao-do-ruído>>. Acesso em: 11 de agosto de 2021.

FANTAZZINI, M. De onde subtrair o NRRsf para comprovar a proteção?. **Revista Proteção**, Novo Hamburgo, v. 31, n. 321, p. 96, set. 2018.

FERNANDES, R. P. O melhor protetor: Preservação da saúde auditiva depende de múltiplos fatores. **Revista Proteção**, Novo Hamburgo, v. 32, n. 325, p. 52-59, jan. 2019.

FUNDACENTRO. **Norma de Higiene Ocupacional nº 01** – Procedimento Técnico – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído. São Paulo. 2001.

_____. **Programa de Conservação Auditiva** – Guia de diretrizes e parâmetros mínimos para a elaboração e a gestão. São Paulo. 2018.

HEIMER. **Gerador Hyundai Modelo GEHH-30**. Disponível em: <http://www.leonheimer.com.br/v3/br/data/data_sheet_GEHH-30.html>. Acesso em: 11 de agosto de 2021a.

_____. **Gerador Perkins Modelo GEHP-100**. Disponível em: <http://www.heimer.com.br/v4/br/datasheet/pdf/datasheet_gehp-100_br.pdf>. Acesso em: 11 de agosto de 2021b.

INSTRUTHERM. **Manual de Instruções – Calibrador para Dosímetros e Decibelímetros Modelo CAL-3000**: catálogo. São Paulo. 2005. Manual de Instruções de Uso.

_____. **Manual de Instruções – Dosímetro Pessoal de Ruído com RS-232 e Datalogger Modelo DOS-500**: catálogo. São Paulo. 2007. Manual de Instruções de Uso.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 7a ed. Rio de Janeiro. LTC, 2007. 914p.

MAXXI EPI.: **Catálogo – Protetor Auditivo de Inserção em Silicone**. catálogo. São Caetano do Sul. 2016. Catálogo.

MUNDO EDUCAÇÃO. **As ferramentas na pré-história**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/historiageral/as-ferramentas-na-pre-historia>>. Acesso em: 11 de agosto de 2021.

PEIXOTO, N. H.; FERREIRA, L. F. **Higiene Ocupacional II**. Santa Maria. Rede e-

Tec., 2013. 212p.

PENSADOR. **Frase do autor Charlison Soares Bispo**. Disponível em: <<https://www.pensador.com/frase/MTYxMzk1Ng/>>. Acesso em: 11 de agosto de 2021.

PUIATTI, R. Ruído e perdas auditivas. **Revista Proteção**, Novo Hamburgo, v. 32, n. 334, p. 18, out. 2019.

SAMELLI, A. G. et al. Revisão sistemática de intervenções para prevenção da perda auditiva induzida por ruído ocupacional – uma atualização. **Revista Codas**. 2020.

SCANIA. **Descrição do Motor Diesel 14 litros**: catálogo. Suécia. 1998. Catálogo.

SECRETARIA DE TRABALHO, MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **NR 01** – Disposições Gerais. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>>. Acesso em: 06 ago. 2021.

_____. **NR 06** – Equipamentos de Proteção Individual - EPI. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

_____. **NR 07** – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>>. Acesso em: 06 ago. 2021.

_____. **NR 09** – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>>. Acesso em: 06 ago. 2021.

_____. **NR 10** – Segurança em Instalações e Serviços com Eletricidade. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>>. Acesso em: 06 ago. 2021.

_____. **NR 12** – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>>. Acesso em: 06 ago. 2021.

_____. **NR 15** – Atividades e Operações Insalubres. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>>. Acesso em: 06 ago. 2021.

_____. **NR 17** – Ergonomia. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>>. Acesso em: 06 ago. 2021.

_____. **NR 35** – Trabalho em Altura. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>>. Acesso em: 06 ago. 2021.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia humana: uma abordagem integrada**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TUFFI, S. M. **Manual Prático de Avaliação e Controle do Ruído - PPRA**. 2a ed. São Paulo. Editora LTr., 2001. 118p.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica Programa de Educação Continuada. **Agentes Físicos I**. Epusp- EAD/ PECE, 2020a. 170p.

_____. Escola Politécnica Programa de Educação Continuada. **Introdução ao Gerenciamento de Riscos e Ferramentas de Comunicação, Treinamento e Comportamento**. Epusp- EAD/ PECE, 2020b. 152p.

_____. Escola Politécnica Programa de Educação Continuada. **Instrumentação em Higiene Ocupacional**. Epusp- EAD/ PECE, 2021. 74p.

ZAJARKIEVAIECH, J. E. B. Avaliação Imparcial: A boa performance do audiodosímetro depende da “conformidade de fato”. **Revista Proteção**, Novo Hamburgo, v. 32, n. 328, p. 62-67, abr. 2019.

3M DO BRASIL. **Programa de Conservação Auditiva** – Guia prático: catálogo. Sumaré. 2011. Catálogo.

_____. **Boletim Técnico – Protetor Auditivo Modelo 1110**: catálogo. Sumaré. 2018. Catálogo.

_____. **Boletim Técnico – Protetor Auditivo tipo Abafador Modelo 3M Muffler**: catálogo. Sumaré. 2017. Catálogo.