

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UnB GAMA / FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INTEGRIDADE DE
MATERIAIS DA ENGENHARIA

AVALIAÇÃO DO RUÍDO OCUPACIONAL E VIBRAÇÃO DE CORPO
INTEIRO EM MOTORISTAS DE CAMINHÃO BETONEIRA

MARCOS VINICIUS SANTOS

ORIENTADORA: Dra. MARIA ALZIRA DE ARAÚJO NUNES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM INTEGRIDADE DE
MATERIAIS DA ENGENHARIA

PUBLICAÇÃO: FGA.DM – 096A/2021

BRASÍLIA/DF: SETEMBRO/2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UnB GAMA / FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INTEGRIDADE DE
MATERIAIS DA ENGENHARIA

MARCOS VINICIUS SANTOS

AVALIAÇÃO DO RUÍDO OCUPACIONAL E VIBRAÇÃO DE CORPO
INTEIRO EM MOTORISTAS DE CAMINHÃO BETONEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM INTEGRIDADE DE MATERIAIS DA
ENGENHARIA DA FACULDADE DO GAMA E FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM INTEGRIDADE DE MATERIAIS DA ENGENHARIA.

ORIENTADORA: Dra. MARIA ALZIRA DE ARAÚJO NUNES

BRASÍLIA/DF

2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UnB GAMA/ FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INTEGRIDADE DE
MATERIAIS DA ENGENHARIA

AVALIAÇÃO DO RUÍDO OCUPACIONAL E VIBRAÇÃO DE CORPO
INTEIRO EM MOTORISTAS DE CAMINHÃO BETONEIRA

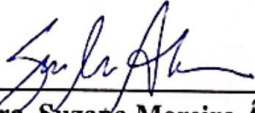
MARCOS VINICIUS SANTOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INTEGRIDADE DE MATERIAIS DA ENGENHARIA DA FACULDADE DO GAMA E FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

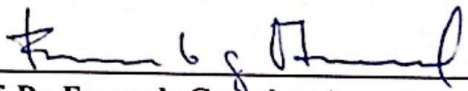
APROVADA POR:



Profa. Dra. Maria Alzira de Araújo Nunes
(Orientadora)



Profa. Dra. Suzana Moreira Ávila
(Examinadora Interna)



Prof. Dr. Fernando Gonçalves Amaral
(Examinador Externo)

Brasília, 03/Setembro/2021

FICHA CATALOGRÁFICA

MARCOS VINICIUS SANTOS

Avaliação do Ruído Ocupacional e Vibração de Corpo Inteiro em Motoristas de Caminhão Betoneira, Distrito Federal, 2021.

109p. 210 x 297 mm. (FGA/FT/UnB, Mestre, Integridade de Materiais da Engenharia, 2021).
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade UnB Gama. Programa de Pós-Graduação em Integridade de Materiais da Engenharia.

1. VCI

2. RUÍDO OCUPACIONAL

3. CAMINHÃO BETONEIRA

4. CONSTRUÇÃO CIVIL

I. FGA/FT/UnB

II. Mestre (FGA.DM 096A/2021)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, M. V. (2021). AVALIAÇÃO DO RUÍDO OCUPACIONAL E VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO EM MOTORISTAS DE CAMINHÃO BETONEIRA. Dissertação de Mestrado em Integridade de Materiais da Engenharia, Publicação: FGA.DM 096A/2021, Faculdade UnB Gama/FT/Universidade de Brasília, DF, 109p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: MARCOS VINICIUS SANTOS

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO RUÍDO OCUPACIONAL E VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO EM MOTORISTAS DE CAMINHÃO BETONEIRA

GRAU: Mestre

ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

NOME: MARCOS VINICIUS SANTOS

E-mail: marcosv3m@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

A realização desta pesquisa foi possível graças à colaboração das seguintes instituições e pessoas, as quais dedico meus sinceros agradecimentos:

Agradeço à empresa coparticipante ao estudo, pela confiança a mim atribuída ao permitir o desenvolvimento da pesquisa.

À Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-Graduação em Integridade de Materiais da Engenharia, pela oportunidade de me capacitar, adquirir e difundir conhecimento e informações.

Aos professores do programa de pós-graduação, por toda a paciência, didática e empenho em transmitir conhecimento. Em especial, agradeço à minha orientadora, a professora Dra. Maria Alzira de Araújo Nunes, que sempre me forneceu amparo profissional durante todo o desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus familiares, por todo o apoio financeiro e emocional fornecido ao longo desta trajetória. Aos meus amigos de longa data: Ana Gabriela, Bianca, Isabel, Jesse, Lara, Maria del Pilar, Marina, Victor, e Weverthon; e aos meus amigos da UnB e de república: Cláudia, Klysmman, Maria, Mariana, Sandy e Sariel, por toda a ajuda, atenção e paciência.

À CAPES, pela oportunidade e pelo apoio financeiro fornecido.

E por fim, agradeço a todas as pessoas que fizeram parte deste desafio e contribuíram para a realização deste trabalho e para o meu crescimento pessoal e profissional.

“Não se pode aprender algo de uma lição sem dor, já que não se pode ganhar algo sem algum sacrifício. Mas quando essa dor é superada e a lição incorporada, o resultado é um coração infalível; um coração de aço.”

(Edward Elric, Full Metal Alchemist)

RESUMO

Trabalhadores lotados como motoristas de caminhões betoneira, ao descreverem as atividades desenvolvidas, relataram as sensações de dores e incômodos que podem estar relacionadas à exposição aos agentes físicos ruído e vibração. Por meio dos dados obtidos relativos a um questionário de anamnese e ao acompanhamento integral diário dos motoristas em duas usinas de concreto situadas em Brasília - DF, foram estimadas as exposições ao ruído e a vibrações de corpo inteiro (VCI) e verificados parâmetros de exposição, como a influência do volume de carga transportada, diferenças metodológicas aplicadas à estimativa de exposição a VCI, possíveis contribuições com a exposição relacionadas às diferenças regionais entre as usinas, e análise de exposição ao ruído para diferentes períodos de trabalho; além de ter sido realizada uma análise preditiva quanto ao relato dos motoristas sobre a presença de dores ou desconfortos musculoesqueléticos. Conforme os resultados obtidos relativos à exposição a VCI, parte das amostras apresentou valores de exposição diária que excedem aos “Limites de Ação” estabelecidos pelas normas regulamentadoras. Assim, faz-se necessária a adoção de medidas preventivas, como a redução do tempo de exposição e o aumento da frequência de manutenção dos caminhões, conforme sugerido pela norma brasileira vigente. A normativa nacional vigente apresentou valores de exposição mais brandos quando comparados à normativa internacional mais utilizada, devido a suas diferenças metodológicas. Além das medidas preventivas sugeridas pela norma vigente, de acordo com os resultados observados, há uma correlação proporcional entre os valores de exposição a VCI e o parametro IMC dos motoristas, o que sugere a adoção de atividades saudáveis como prevenção às dores musculoesqueléticas relatadas pelos entrevistados. Para a exposição ao agente físico ruído, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas de exposições relacionadas ao turno de trabalho e características regionais entre as usinas. Apesar de não terem sido registrados valores de exposição diária acima do limite estabelecido pela normativa brasileira, as análises realizadas ressaltam a importância da caracterização das etapas diárias de trabalho para a adoção de medidas preventivas eficientes.

Palavras-chave: VCI, Ruído Ocupacional, Caminhão Betoneira, Construção Civil.

ABSTRACT

Workers allocated as concrete mixer truck drivers, when describing the developed activities, reported the sensations of pain and discomfort that may be related to exposure to the physical agents noise and vibration. Through the data obtained from an anamnesis questionnaire and the whole daily monitoring of drivers in two concrete batching plants located in Brasília - DF, exposures to noise and whole-body vibration (WBV) were estimated, and exposure parameters were verified, such as the influence of the volume of cargo transported, methodological differences applied to the estimation of exposure to WBV, possible contributions to exposure related to regional differences between concrete batching plants, and analysis of noise exposure for different periods of work. Additionally, a predictive analysis regarding the report of drivers on the presence of musculoskeletal pain or discomfort was carried out. As the results obtained concerning exposure to WBV stated, part of the samples presented daily exposure values that exceed the “Action Limits” established by regulatory standards. Thus, it is necessary to adopt preventive measures, such as reducing the exposure time and increasing the frequency of truck maintenance, as suggested by the current Brazilian standard. The current national regulations showed milder exposure values when compared to the most used international regulations, due to their methodological differences. In addition to the preventive measures suggested by the current standard, according to the results observed, there is a proportional correlation between the values of exposure to WBV and the BMI parameter of drivers, which suggests the adoption of healthy activities as a prevention to the musculoskeletal pain reported by the interviewed. For the exposure to the physical agent noise, no statistically significant differences were found in exposures related to the work shift and regional characteristics between the plants. Although daily exposure values above the limit established by the Brazilian regulations have not been recorded, the analyzes carried out highlight the importance of characterizing the daily stages of work for the adoption of efficient preventive measures.

Keywords: WBV, Occupational Noise, Concrete Mixer Truck, Civil Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de exposição à vibração: (a) objeto vibratório. (b) vibração transmitida a todo o corpo.	21
Figura 2 – Exame audiométrico tonal por via aérea.	22
Figura 3 – Caminhão betoneira.	23
Figura 4 – Processo de produção simplificado de uma central dosadora de concreto.	23
Figura 5 – Representação do globo do caminhão betoneira.	25
Figura 6 – Tipos de pavimento considerados: (a) asfalto. (b) estrada de terra. (c) paralelepípedo.	31
Figura 7 – Assentos utilizados para simulação a VCI: (a) assento aéreo de caminhão. (b) assento aéreo de ônibus. (c) assento EM utilizado para os dois casos.	31
Figura 8 – Exposição diária à vibração e limites de exposição de acordo com a Diretiva 2002/44/EC.	33
Figura 9 – Gráfico de prevalência de sintomas musculoesqueléticos em pilotos agrícolas.	34
Figura 10 – Distribuição audiométrica da amostra em estudo.	38
Figura 11 – Faixas estimadas de frequências naturais do corpo humano.	41
Figura 12 – Regiões da coluna vertebral.	42
Figura 13 – Variações de eixos ortogonais devido à posição do trabalhador.	45
Figura 14 – Curvas de ponderação em frequência a VCI para os eixos “x”, “y” e “z”.	45
Figura 15 – Zona de cautela para exposições entre 4 e 8 h.	48
Figura 16 – Eixos ortogonais para medição da vibração.	49
Figura 17 – Anatomia da orelha humana.	55
Figura 18 – Seção transversal da Cóclea.	56
Figura 19 – Curvas características de ponderação.	57
Figura 20 – Medidores de exposição sonora: (a) medidor integrador de uso pessoal. (b) medidor integrador portado pelo avaliador.	66
Figura 21 – Mapa estrutural da metodologia.	68
Figura 22 – Adaptação do HVM 100: (a) modelo utilizado. (b) HVM fixado em assento.	70
Figura 23 – Adaptação de medidor de pressão sonora: (a) modelo utilizado. (b) adaptação do modelo à poltrona (c) microfone em faixa auditiva.	70

Figura 24 – Aquisição de exposição a VCI e ao ruído: (a) aparelhos fixados no assento e poltrona de encosto. (b) motorista em sua diária normal de trabalho.....	71
Figura 25 – Distribuição de leituras de pressão sonora.	73
Figura 26 – Obtenção de dados antropométricos: (a) massa. (b) altura.	75
Figura 27 – Características da amostra de estudo.....	78
Figura 28 – Caracterização das regiões de entrega de concreto.	79
Figura 29 – Níveis médios de exposição diária.	80
Figura 30 – Níveis de exposição a ruído entre usinas.	81
Figura 31 – Curva de distribuição de exposição ocupacional ao ruído.	82
Figura 32 – Comparativo de exposição entre usinas para o turno matutino.....	83
Figura 33 – Comparativo de exposição entre usinas para o turno vespertino.	83
Figura 34 – Exposição entre turnos matutino e vespertino.	84
Figura 35 – Comparativo de exposição entre turnos matutino e vespertino.	85
Figura 36 – Contribuições de trajetos de entrega de concreto e retorno à usina quanto à exposição ao ruído.	86
Figura 37 – Estimativa diária de exposição a VCI.	88
Figura 38 – Exposição integral x exposição por componentes.	89
Figura 39 – Influência da massa transportada em relação à exposição a VCI.	90
Figura 40 – Relação do tempo de exposição aos níveis de VCI.	91
Figura 41 – Comparativo metodológico para exposição a VCI.	93
Figura 42 – Sintomas musculoesqueléticos relatados pela amostra de estudo.....	94
Figura 43 – Valores de corte para capacidade preditiva.....	95
Figura 44 – Relação de nível de exposição e IMC.	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aceleração ponderada em raiz média quadrática (m/s^2) para o eixo dominante (z).	32
Tabela 2 – Características técnicas dos tratores utilizados por Vallone et al.	33
Tabela 3 – Características acústicas gerais.	40
Tabela 4 – Considerações subjetivas ao conforto e percepção à exposição a VCI.	49
Tabela 5 – Limites de exposição a VCI.	50
Tabela 6 – Critérios de julgamento à exposição de vibração de corpo inteiro.	54
Tabela 7 – Relação de diferentes países e níveis permissíveis de exposição.	59
Tabela 8 – Especificações mínimas para o tempo de exposição de acordo com o número de trabalhadores do grupo homogêneo. Adaptado de ISO 9612 (2009).	61
Tabela 9 – Limites de tolerância para exposição a ruído contínuo.	64
Tabela 10 – Variáveis da equação.	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
VMB	Vibrações de Mãos e Braços
VCI	Vibrações de Corpo Inteiro
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial de Saúde
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
IMC	Índice de Massa Corporal
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização.)
SIA	Setor de Indústria e Abastecimento
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
EM	Eletromagneticamente ativo
NR	Norma Regulamentadora
PAIR	Perda Auditiva Induzida pelo Ruído
INST	Instituto Nacional de Saúde no Trabalho
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CID	Classificação Internacional de Doenças
DORT	Doença Osteomuscular Relacionada com o Trabalho
CDC	<i>Centers for Disease Control and Prevention</i> (Centro de Controle e Prevenção de Doenças).
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
MTB	Ministério do Trabalho
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
CEP	Centro de Ética em Pesquisa
TCLE	Termo de Compromisso Livre e Esclarecido
HVM	<i>Human Vibration Meter</i>
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i> (Pacote Estatístico para Ciências Sociais).
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i> (Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional)

LISTA DE SÍMBOLOS

Alfabeto latino:

a_w	[m/s ²]	Aceleração Ponderada em Frequência
a_{mj}	[m/s ²]	Aceleração Média
a_{mr}	[m/s ²]	Aceleração Média Resultante
a_{rep}	[m/s ²]	Aceleração Resultante de Exposição Parcial
a_{re}	[m/s ²]	Aceleração Resultante de Exposição
a_{ren}	[m/s ²]	Aceleração Resultante de Exposição Normalizada
VDV_j	[m/s ^{1,75}]	Valor Dose de Vibração
VDV_{exp}	[m/s ^{1,75}]	Valor da Dose de Vibração da Exposição
$VDVR$	[m/s ^{1,75}]	Valor Dose de Vibração Resultante
$A(8)$	[m/s ²]	<i>Daily Vibration Exposure</i> (Exposição Diária a Vibração)
$VDV(8)$	[m/s ^{1,75}]	<i>Daily Fourth Power Vibration Dose Value</i> (Valor Diário de Dose de Vibração a Quarta Potência)
NM	[dB(A)]	Nível Médio
NEN	[dB(A)]	Nível de Exposição Normalizado
T	[min]	Tempo
T ₀	[min]	Tempo Normalizado da Jornada de Trabalho
T _{amos}	[min]	Tempo Total de Amostras
T _{exp}	[min]	Tempo Total de Exposição à Vibração
$L_{p,A,eqT,m}$	[dB(A)]	Pressão Sonora Ponderada em Filtro A
T _m	[min]	Tempo Médio de Tarefas
T _e	[min]	Tempo de Exposição
$L_{EX,8h}$	[dB(A)]	Exposição Total Diária

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 JUSTIFICATIVA.....	24
1.2 OBJETIVOS	25
1.2.1 Objetivo geral.....	25
1.2.2 Objetivos específicos.....	25
1.3 METODOLOGIA	26
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	27
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO (VCI)	29
2.2 EXPOSIÇÃO AO RUÍDO OCUPACIONAL	36
3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	41
3.1 VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO (VCI).....	41
3.1.1 Normativas para Avaliação de Vibrações de corpo Inteiro (VCI)	43
3.1.1.1 ISO 2631 (1997) – Avaliação da exposição humana às Vibrações de Corpo Inteiro (<i>Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration</i>).	44
3.1.1.2 BS 6841 (1987) – Medição e Avaliação da Exposição Humana à Vibração Mecânica de Corpo Inteiro e Choque Repetido (<i>Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock</i>).	49
3.1.1.3 Diretiva Europeia 2002/44/CE.....	50
3.1.1.4 NHO 09 – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro (2013) 51	
3.2 Exposição Ocupacional ao Ruído	55
3.2.1 Normativas para Avaliação de Exposição ao Ruído Ocupacional	58
3.2.1.1 ISO 9612 (2009) – Determinação da Exposição ao Ruído Ocupacional (<i>Acoustics – Determination of occupational noise exposure – Engineering method</i>).	59
3.2.1.2 ISO 1999 (2013) – Estimativa de Perda Auditiva Induzida por Ruído (<i>Acoustics – estimation of noise induced hearing loss</i>).	62
3.2.1.3 NR-07 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional	63
3.2.1.4 NR-15 – Atividades e Operações Insalubres	63
3.2.2 Metodologia Aplicada ao Ruído Ocupacional	65
4 METODOLOGIA	68
4.1 Análises Referentes à Exposição a VCI e ao Ruído Ocupacional	69
4.1.1 Aquisição de Dados.....	69

4.1.2	Análise de Dados.....	71
4.2	Caracterização da Amostra de Estudo e Relação de Variáveis.....	74
4.2.1	Coleta de Dados e Critérios de Inclusão	74
4.2.2	Riscos e Benefícios	75
4.2.3	Modelo de Predição.....	76
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77
5.1	Caracterização da Amostra de Estudo.....	77
5.2	Exposição ao Ruído Ocupacional	80
5.2.1	Exposição Total Diária ao Ruído	80
5.2.2	Contribuição Regional Quanto ao Ruído Ocupacional	81
5.2.3	Contribuição do Turno de Trabalho Quanto à Exposição ao Ruído Ocupacional	82
5.2.4	Avaliação do Transporte de Carga Quanto à Avaliação do Ruído Ocupacional	85
5.3	Exposição a Vibrações de Corpo Inteiro	87
5.3.1	Estimativa de Exposição Diária a VCI.....	87
5.3.2	Avaliação das Componentes de Exposição a VCI	89
5.3.3	Avaliação da Exposição a VCI devido ao transporte de carga.....	90
5.3.4	Avaliação metodológica entre ISO 2631 e NHO 09.	92
5.3.5	Predição de sintomas musculoesqueléticos.....	94
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
6.1	Conclusões	98
6.2	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	99
7	REFERÊNCIAS.....	100
	Anexo A – Questionário de anamnese empregado no estudo.....	106
	APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	109
	APÊNDICE B – Termo de Autorização de Imagem e Som.....	110
	APÊNDICE C – Informações Reunidas a Respeito dos Caminhões	111
	APÊNDICE D – Entregas Realizadas.....	112
	APÊNDICE E – Componentes de Exposição.....	113
	APÊNDICE F – Valores de Eixo de Exposição.....	114

1 INTRODUÇÃO

No meio laboral, riscos físicos como: ruído, vibração, pressão, temperatura, entre outros, podem afetar negativamente a saúde do trabalhador. Os efeitos à saúde devido a esses agentes são diversos e não podem ser estimados por meio de órgãos sensoriais, como: olhos, nariz e paladar. Neste contexto, profissionais e metodologias específicas são necessários para realizar uma estimativa de risco. (NHO 09, 2013; LEE E KIM, 2014).

O ruído e a vibração são considerados os dois agentes físicos mais comuns dentre aqueles que contribuem negativamente à saúde e ao conforto do trabalhador. Os efeitos produzidos por estes agentes variam desde simples irritações até graves distúrbios orgânicos. Em correlação aos efeitos à saúde, devem ser consideradas também as implicações pela redução da capacidade intelectual do trabalhador ou eliminação permanente de força de trabalho devido a afastamentos por doenças ocupacionais (ILO, 1984).

Os malefícios à saúde do trabalhador quanto à exposição à vibração são uma informação aceita pela comunidade acadêmica desde meados de 1940. Já a exposição ao agente físico ruído, foi reconhecida por volta de 1960, ao se relacionar os altos níveis de pressão sonora com a diminuição do limiar auditivo (STAYNER, 2001; WILKSTROM, KJLLBERG E LANDSTROM, 1994).

Segundo Bibhut e Mansfield (2015), a exposição ocupacional à vibração é definida, a princípio, pela maneira em que a energia vibratória é transmitida ao corpo humano, e é caracterizada pelo tempo de exposição e amplitude da vibração. A transmissão da energia vibratória ocorre pelo contato do trabalhador com uma superfície ou objeto vibrante, assim como ilustrado pela Figura 1. A vibração mecânica pode ser transmitida para partes do corpo humano, especialmente mãos e braços, como ilustrado na Figura 1(a); Vibração de Mãos e Braços (VMB), ou para todo o corpo do trabalhador, como ilustrado pela Figura 1(b); Vibrações de Corpo Inteiro (VCI).

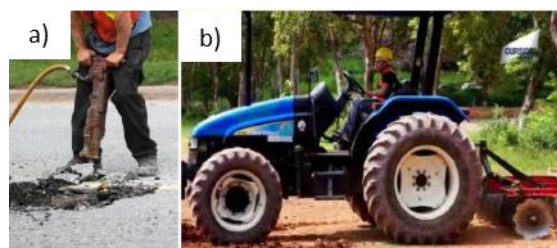


Figura 1 – Tipos de exposição à vibração: (a) objeto vibratório. (b) vibração transmitida a todo o corpo. (Adaptado de Moore, 2017)

Conforme Griffin (1990) e Mansfield (2005), os efeitos mais comuns relatados por trabalhadores no que diz respeito à exposição a VCI são: dores na região lombar, distúrbios digestivos, espessamentos das estruturas cardíacas, doenças neurológicas e distúrbios vasculares. Autores como Dupius e Zerlett (1986) e Mansfield (2005), indicam que quanto maior o tempo de exposição, maior será a chance de que o trabalhador desenvolva problemas de saúde relacionados à exposição à vibração.

No que diz respeito ao agente físico ruído, como informam Ilo (1984), Brasil (2000), Alziadeh (2016), e Vallone (2016), além de responsável pela alteração do limiar auditivo humano, é considerado um poluente ambiental, especialmente em áreas de denso tráfego de veículos; e um risco à saúde com consideráveis impactos sociais e fisiológicos. O ruído também pode ser responsável por problemas adversos como: aumento da pressão sanguínea, desenvolvimento de doenças cardiovasculares, distúrbios de sono e problemas cognitivos (CHANG ET AL., 2011; MUNZEL ET AL., 2014; GIRARD ET AL., 2014).

As alterações auditivas são diagnosticadas por meio de avaliações audiológicas, que constam de questionário de anamnese e exames quantitativos de perda auditiva. Segundo Bistafa (2008), o exame de audiometria tonal limiar por via aérea, ilustrado pela Figura 2, é o mais utilizado para avaliação quantitativa e está presente em diversos estudos quanto à perda auditiva. O exame é realizado com fones de ouvido em uma cabine acústica e consiste em determinar a menor intensidade sonora necessária para provocar a sensação auditiva no indivíduo (RODRIGUES, 2011).



Figura 2 – Exame audiométrico tonal por via aérea.
Instituto Gaúcho de Otorrinolaringologia, 2018.

Assim como indicado por Dornela (2011), a vibração e o ruído como riscos físicos estão presentes em diversos locais de trabalho como em mineradoras, na utilização de máquinas agrícolas e na construção civil. Além de seus malefícios à saúde de forma individual,

trabalhadores expostos simultaneamente aos dois agentes, ruído e vibração, podem apresentar redução da capacidade auditiva de forma intensificada (SILVA E MENDES, 2005).

Dentre as diversas máquinas utilizadas no setor econômico da construção civil, há o caminhão betoneira. De acordo com a NBR 12655 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento, o caminhão betoneira, ilustrado pela Figura 3, é um veículo dotado de dispositivo que efetua a mistura de concreto e mantém sua homogeneidade por agitação.



Figura 3 – Caminhão betoneira.

Caminhões betoneira são veículos diariamente utilizados por centrais dosadoras de concreto. As centrais ou usinas dosadoras são um conjunto de instalações onde são realizadas operações de recebimento, estocagem, dosagem e mistura dos materiais componentes do concreto (NBR 12655). O ciclo diário simplificado das atividades do caminhão betoneira em uma central dosadora pode ser ilustrado conforme a Figura 4.

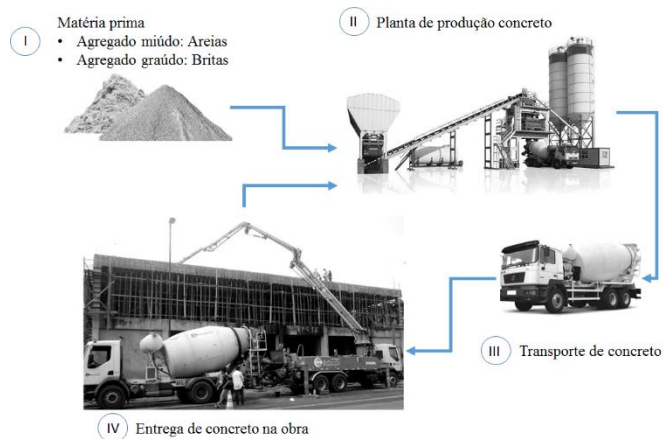


Figura 4 – Processo de produção simplificado de uma central dosadora de concreto.

I – A matéria-prima necessária para a produção de concreto, como: cimento, agregados graúdos, agregados miúdos e aditivos são recebidos e armazenados pela central dosadora.

II – Os agregados são dosados e, por meio de uma esteira, são depositados dentro do caminhão betoneira juntamente com o aditivo, caso necessário, água e cimento. Ainda na central, é realizada a primeira mistura dos materiais pelo caminhão betoneira e a consistência do concreto é avaliada de acordo com as especificações do cliente.

III – O caminhão parte da usina para a obra. Durante todo o percurso, o concreto deve ser agitado a uma velocidade de rotação de 02 a 04 rpm a fim de que a mistura não se desagregue.

IV – Após finalizar a entrega, o caminhão retorna à usina para ser carregado novamente. Durante o percurso de retorno, o globo do caminhão mantém velocidade de rotação de 02 rpm.

Devido à necessidade de manter a mistura do concreto constante e ao contínuo deslocamento de massa dentro do dispositivo que efetua a mistura do concreto, ruídos e vibrações são gerados e tal exposição pode ser prejudicial aos condutores. Diante da variedade de características que interferem na exposição a VCI nos trabalhadores, como: modelo de veículo, características ergonômicas do motorista, tipo de assento, percurso, tempo de exposição, dentre outras, é necessário o desenvolvimento de estudos específicos para investigar a ameaça à saúde e bem-estar dos motoristas no ambiente de trabalho (JONSSON ET AL., 2014; LEWIS e JOHNSON, 2012; NUNES e SILVA, 2015; TAMRIN ET AL., 2014; ROTH, 2010).

1.1 JUSTIFICATIVA

A principal motivação ao estudo de vibrações em caminhões betoneira deve-se aos poucos estudos existentes na literatura a respeito deste tipo de veículo. Outra justificativa pertinente ao estudo seria o relato dos trabalhadores sobre o ambiente de trabalho, visto que os motoristas descreveram sensações de incômodo que podem estar relacionadas a exposições aos agentes físicos ruído e vibração.

O globo do caminhão betoneira, conforme representado pela Figura 5, local onde é transportado o concreto, precisa estar em constante agitação para garantir a efetiva homogeneização da mistura, o que ocasiona ruídos e vibrações.



Figura 5 – Representação do globo do caminhão betoneira.

Além do ruído gerado pelo veículo, os motoristas também estão expostos a ruídos externos ao caminhão, pois trafegam por vias urbanas. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a estimativa para 2030 é que até seiscentos e trinta milhões de pessoas no mundo apresentem perda auditiva em consequência da exposição ao agente físico ruído.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este estudo teve como objetivo geral caracterizar e verificar os níveis de exposição ao ruído e a VCI em uma amostra de motoristas de caminhão betoneira referente a duas usinas de concreto localizadas em Brasília – DF.

1.2.2 Objetivos específicos

Este estudo teve como objetivos específicos:

- Caracterizar a amostra de estudo;
- estimar a exposição a VCI em motoristas de caminhão betoneira devido ao transporte de concreto e verificar se tal exposição excede aos valores exigidos pela norma vigente;
- estimar a exposição a ruído durante o transporte de concreto em motoristas de caminhão betoneira e verificar se a exposição excede aos valores diários permissíveis;
- analisar e verificar a influência de parâmetros sobre os níveis de exposição a ruído e VCI.

- analisar a metodologia empregada sob a perspectiva de diferentes normas regulatórias, comparando-as;
- verificar a influência da utilização de repetição de componentes de exposição quanto à exposição diária total;
- realizar uma análise preditiva referente a doenças musculoesqueléticas nos motoristas de caminhão betoneira.

1.3 METODOLOGIA

Para o início do desenvolvimento desta pesquisa, uma vez realizado o contato com a empresa coparticipante, por meio do qual se estabeleceu o interesse mútuo em desenvolver o estudo, foi elaborado um projeto de pesquisa e submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), da Universidade de Brasília (UnB). Após a permissão do conselho, houve novamente o contato com a empresa coparticipante para que fosse programado o desenvolvimento do trabalho.

A amostragem definida em trinta e dois motoristas abrangeu a quantidade total de motoristas em duas filiais de uma empresa produtora de concreto usinado em Brasília – DF. Os motoristas que concordaram em participar da pesquisa preencheram um questionário de anamnese cujo objetivo era caracterizar a amostra em estudo. O questionário englobava características antropométricas (altura, massa e Índice de Massa Corporal), características sociais, e histórico de saúde ocupacional. Por meio dos dados assim obtidos, foi realizada uma análise preditiva conforme o relato dos motoristas sobre a presença de dores ou desconfortos musculoesqueléticos que pudessem estar associados à exposição aos agentes físicos ruído e vibração.

No período de coleta de dados deste estudo, as usinas ou centrais dosadoras de concreto analisadas estavam localizadas nas regiões do SIA e de Ceilândia, e ambas as usinas atendiam a obras em um raio de aproximadamente 47 km. A primeira usina, referente à região do SIA, dispunha de vinte e dois motoristas; enquanto a segunda usina, localizada na região de Ceilândia, dispunha de dez motoristas. Não foi possível estabelecer a população de motoristas de caminhão betoneira então existentes em Brasília – DF devido à não obrigatoriedade da vinculação de empresas ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA); além da existência de motoristas autônomos, que não possuíam vínculos empregatícios e realizavam o transporte de carga por meio de contato direto com obras civis.

As estimativas de exposição a ruído e a VCI foram obtidas através do acompanhamento integral dos motoristas durante a diária de trabalho. A estimativa da exposição ao ruído foi efetuada pelo nível médio representativo da exposição do trabalhador durante o transporte de concreto. Com o valor obtido, foi verificado se a exposição excedia aos valores diários permissíveis de acordo com a norma vigente NHO 01. Para a estimativa de exposição a VCI, foram feitas observações quanto a adversidades intrínsecas à profissão, como qualidade do pavimento, velocidade média adotada, e tempo diário de exposição. Verificou-se, então, se tal exposição excedia aos valores de Aceleração Resultante de Exposição Normalizada (*aren*) e Valor Dose de Vibração Resultante (*VDVR*) exigidos pela norma vigente NHO 09.

Após realizadas as estimativas, foi analisada a interferência dos os seguintes parâmetros sobre as exposições diárias a ruído e VCI: a localização da usina, a massa transportada, e o turno de trabalho, matutino ou vespertino. Em seguida, foram estabelecidas comparações metodológicas entre normativas sobre exposição a VCI, a NHO 09 e a ISO 2631.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para uma melhor compreensão do trabalho, apresenta-se um resumo de cada capítulo:

O Capítulo 1 realiza uma breve descrição sobre vibrações e ruído, ressaltando os riscos de exposição aos agentes físicos citados e destacando a justificativa, os objetivos e a metodologia empregada.

Em sequência, o Capítulo 2 apresenta as variadas pesquisas em que os agentes físicos ruído e vibração são empregados, além de abordar brevemente os parâmetros utilizados para realizar as avaliações de exposição.

Posteriormente, no Capítulo 3, são abordados os principais aspectos teóricos a respeito da exposição a VCI e ruído ocupacional, em que são definidos e explicados conceitos pertinentes ao tema.

No Capítulo 4, são apresentadas as metodologias normativas empregadas no estudo, tal como ocorreu a aquisição e o tratamento de dados.

No Capítulo 5, são discutidos os principais resultados obtidos e os parâmetros empregados nas análises.

No Capítulo 6, são realizadas as considerações finais acerca do trabalho realizado e são propostas possíveis análises para desenvolvimento de trabalhos futuros.

O Capítulo 7 apresenta as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

No Apêndice A é apresentado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido apresentado a cada participante da pesquisa.

No Apêndice B é apresentado o Termo de Autorização de Imagem e Sons de Voz Para Fins de Pesquisa entregue a cada participante da pesquisa.

O Apêndice C apresenta informações sobre os caminhões utilizados neste estudo, tais como modelo, ano de fabricação e volume máximo de carga.

O Apêndice D informa as variações de volume de concreto transportado, o tempo de exposição e a quantidade de solicitações de entrega de concreto que ocorreram durante o desenvolvimento do estudo.

O Apêndice E apresenta os valores de exposição obtidos durante o estudo.

Finalmente, o Apêndice F apresenta os valores de exposição referentes aos três eixos ortogonais, bem como sua dominância.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, primeiramente, são apresentados os estudos a respeito de vibrações de corpo inteiro (VCI) em diferentes veículos automotores, evidenciando os principais parâmetros utilizados pelos autores e suas relações com a exposição a VCI. Posteriormente, apresentam-se estudos e análises desenvolvidas a respeito de exposição ocupacional a ruído, e ressalta-se a necessidade do estudo e os riscos dos trabalhadores quanto a esta exposição. A partir da revisão bibliográfica exposta neste item, foi possível adequar parâmetros e características considerados no estudo em questão.

2.1 EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO (VCI)

A relação entre o homem e veículos automotivos é historicamente crescente e se dá, não somente pelo processo de mecanização do trabalho, por meio do transporte de cargas e materiais, por exemplo, mas também pela necessidade de locomoção das pessoas, e pode ocorrer por vias aéreas, terrestres ou marítimas. Partindo desta informação, trabalhadores e passageiros de veículos automotores estão diariamente sujeitos à energia vibratória. A magnitude da vibração e o tempo a que uma pessoa está submetida à vibração são os principais parâmetros para análise de exposição a VCI (MANSFIELD, 2005; STAYNER, 2001).

Diversos estudos têm sido realizados a fim de caracterizar a exposição a VCI nos diferentes tipos de veículos automotores. No estudo desenvolvido por Clark et. al (2001), o autor listou potenciais riscos de segurança e saúde no trabalho associados a operações com caminhões betoneiras. Os dados para as avaliações foram obtidos por meio de discussões e relatos dos motoristas e proprietários das empresas, análises de dados obtidos pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) e pela revisão da literatura a respeito do tema. Dentre os riscos de exposição a esse grupo de trabalhadores, foram citados: escorregões, tropeços e quedas; exposição a espaços confinados; exposição ao ruído ocupacional; e riscos associados ao sistema musculoesquelético, como: exposição a VCI, postura inadequada ao dirigir e torção repetitiva das costas. O autor ressaltou a necessidade e o compromisso dos empregadores ao implementar programas de identificação de riscos e melhores práticas de segurança e saúde ocupacional, como: implementar programas de conservação auditiva e controle de ruído, a redução da exposição a VCI ao isolar a cabine dos caminhões a vibração, utilizar assentos com suspensões pneumáticas e encostos alcochoados e ajustáveis e implementar intervalos de descanso entre as entregas realizadas pelos motoristas.

Smets, Eger e Grenier (2010), que realizaram seu estudo em caminhões caçamba na região norte de Ontário, Canadá, dividiram as etapas de trabalho para cada motorista e mencionaram a importância do detalhamento das tarefas diárias exercidas, informações sobre manutenção dos caminhões, pausas efetuadas, velocidade média do veículo e apresentação dos diferentes tipos de terrenos, caso existissem variações.

Lewis e Johnson (2012) realizaram, nos EUA, a variação do tipo de pavimento e de veículo para analisarem a exposição a VCI em trinta motoristas de ônibus durante um percurso de 52 km. O percurso incluía rodovias, ruas urbanas e lombadas. Após efetuado o percurso, foram selecionados cinco motoristas e realizou-se um comparativo da exposição obtida pelo ônibus e por um veículo de passeio que percorreu a mesma rota proposta. As diferentes características de pavimento (rodovias, ruas urbanas e lombadas) ao longo do percurso apresentaram efeito significativo quanto à exposição a VCI. Os autores avaliaram tal exposição por meio dos parâmetros de aceleração resultante e valor dose de vibração (VDV). Para a aceleração resultante, a região de rodovia apresentou maior valor r.m.s de exposição. Já para o valor dose de vibração, todos os percursos apresentaram exposição superior aos valores subjetivos estipulados pela normativa utilizada pelo autor, a ISO 2631. De acordo com os autores, além da clara influência das características do pavimento na exposição a VCI, o tipo de veículo utilizado também apresentou resultados divergentes quanto à exposição. A exposição sofrida pelo motorista do ônibus foi duas vezes maior do que aquela sofrida pelo motorista do veículo de passeio.

Tamrin et al. (2012), em sua pesquisa realizada na Malásia, analisou a relação de doenças musculoesqueléticas (dorsalgia e lombalgia) em motoristas de ônibus com fatores de riscos, como: condições de pista, postura ao dirigir e condições de manutenção do veículo. Os autores concluíram que existia a tendência de os motoristas de ônibus em estudo estarem relacionados a doenças musculoesqueléticas ocupacionais. Doenças, entretanto, não originadas de apenas um fator de exposição, mas pela composição de fatores, como postura, manutenção do veículo, tipo de veículo, ergonomia, tempo de exposição e magnitude de vibração.

Em seu estudo, Zanol (2014) avaliou a influência de três tipos de pavimento quanto à exposição a VCI. O estudo contou com dois motoristas de ônibus urbanos na Cidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Cada motorista realizou três medições para cada trecho definido pelo autor, sendo estes: asfalto, estrada de terra, e paralelepípedo, representados na Figura 6.



Figura 6 – Tipos de pavimento considerados: (a) asfalto. (b) estrada de terra. (c) paralelepípedo.
Adaptado de Zanol, 2014.

De acordo com a análise realizada pelo autor, a influência dos dois diferentes motoristas quanto ao resultado de exposição obtido não foi significativa. Os diferentes tipos de pavimento foram os fatores que mais apresentaram influência sobre a exposição a VCI. O pavimento do tipo paralelepípedo foi o que demonstrou maior valor de exposição, seguido pelo trecho de estrada de terra e por último, o trecho de asfalto.

Blood et al. (2015), apresentou a simulação de exposição a VCI em assentos aéreos de ônibus e assentos aéreos de caminhão por meio de uma plataforma vibratória. Um terceiro assento eletromagneticamente ativo (EM) foi utilizado como um comparativo para cada uma das simulações já realizadas, conforme indica a Figura 7.

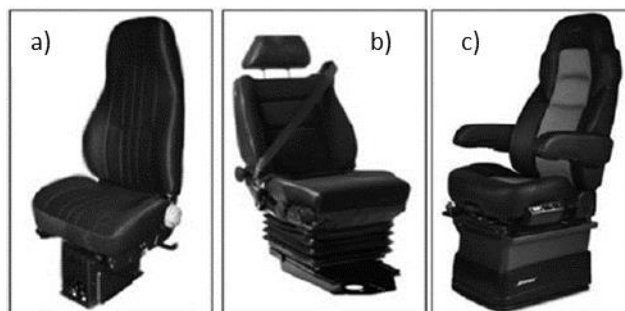


Figura 7 – Assentos utilizados para simulação a VCI: (a) assento aéreo de caminhão. (b) assento aéreo de ônibus. (c) assento EM utilizado para os dois casos.
Adaptado de Blood et al., 2015.

O estudo mostrou o efeito significativo do tipo de assento utilizado por motoristas em relação à exposição a VCI. O assento EM apresentou redução significativa de vibração quando comparado a ambas as simulações. O autor enfatizou que, geralmente, a seleção do tipo de assento utilizado é baseada em durabilidade, custo e conforto. A exposição à vibração é um fator distante à escolha do assento e que não está necessariamente correlacionada ao conforto.

Bibhut e Mansfield (2015) caracterizaram a exposição a VCI em motoristas de caminhões caçamba, em uma mina localizada no Oeste da Índia, dividindo e analisando cada etapa de trabalho em: carga, transporte, descarga e retorno, assim como elaborado por Smets, Eger e Grenier (2010). Por meio do estudo, observou-se a significância de identificar cada etapa

do processo, visando minimizar a exposição a VCI de maneira eficiente. Como apresentado pela Tabela 1, 99% da contribuição para a exposição a VCI era referente aos processos de transporte e retorno.

Tabela 1 – Aceleração ponderada em raiz média quadrática (m/s²) para o eixo dominante (z). Adaptado de Bibhuti e Mansfield, 2015.

Caminhão (Identificação)	Carga (m/s²)	Transporte (m/s²)	Descarga (m/s²)	Retorno (m/s²)
101	0.158	1.001	0.451	1.257
105	0.139	0.824	0.460	1.013
107	0.220	0.865	0.328	1.083
201	0.152	0.737	0.258	0.841
203	0.123	0.693	0.264	0.828
208	0.211	1.024	0.327	1.354
303	0.123	0.834	0.327	1.140
306	0.126	0.871	0.508	1.219

Os autores também destacaram a importância da análise consciente a respeito de exposição, pois são raros os casos em que os motoristas estão expostos à vibração por um período integral de oito horas. Ressaltaram também, que os tempos de pausa, reabastecimento, carga e descarga em que os motoristas não estejam expostos a VCI devem ser levados em consideração durante a análise da dose diária de vibração.

Mohani et al. (2015) realizou, por meio de uma bancada experimental em uma sala semi-anechoica localizada no Instituto de Tecnologia da Universidade de Ontário, Canadá, a avaliação da exposição a VCI e o conforto dinâmico em um banco de classe econômica de avião. Foram simuladas diferentes condições de voos por meio de uma plataforma vibratória: decolagem, pouso e turbulência. Para a primeira análise, foi utilizado um manequim de 68 kg na simulação de um passageiro em um dos assentos da bancada de classe econômica. Na segunda análise, foi realizada a troca do estofado do assento de classe econômica pelo estofado de classe executiva, e novamente a massa de 68 kg foi simulada como um passageiro. No terceiro caso, utilizando estofado de classe executiva, foi adicionada uma massa idêntica à primeira, de 68 kg, e avaliado se há interferência da exposição a VCI e no conforto dinâmico devido à presença de um segundo passageiro. O estudo indicou a redução dos parâmetros referentes a VCI, para os três testes de caso utilizados pelo autor, quando houve a troca de estofado. A introdução de um segundo manequim também apresentou influência na redução da exposição.

Nunes e Silva (2015), além da comparação entre os tipos de pavimentos em rodovias públicas e privadas, realizaram a medição sobre exposição a VCI em motoristas de ônibus por

período integral de exposição, considerando apenas uma componente contínua durante toda a jornada de trabalho. Foi analisada a contribuição para a exposição a VCI ao longo de rotas públicas e privadas. Assim como esperado pelos autores, houve menor exposição a VCI em vias privadas, devido à melhor manutenção do pavimento, do que quando comparado a vias públicas.

No estudo realizado por Vallone et al. e (2016), o autor realizou uma comparação entre seis diferentes tratores, com variados anos de fabricação, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Características técnicas dos tratores utilizados por Vallone et al. Adaptado de Vallone et al., 2016.

Trator	Ano de Fabricação	Horas Trabalhadas
T1	2012	2.000
T2	2010	3.000
T3	2008	4.000
T4	2006	5.000
T5	2004	6.000
T6	2002	7.500

As medições ocorreram em três diferentes províncias, com diferentes tipos de solos: litossolos (solo A), regossolos (solo B) e vertissolos (solo C), em Sicília, Itália. O mesmo motorista foi observado em todos os casos para que o IMC (Índice de Massa Corporal) do condutor não interferisse na obtenção dos valores de aceleração. De acordo com a Diretiva 2002/44/EC, utilizada pelo autor, foi estabelecida a zona aceitável de exposição a VCI, fixada em $0,5 \text{ m/s}^2$, como valor de ação (linha amarela), e $1,15 \text{ m/s}^2$ como valor limite (linha vermelha), conforme pode ser visualizado na Figura 8.

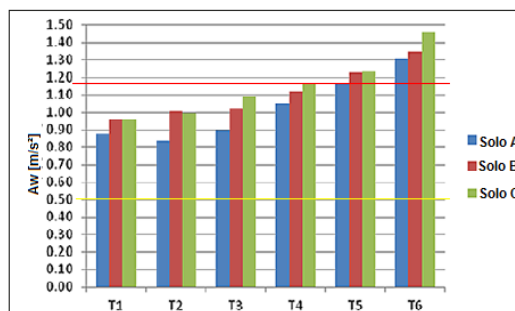


Figura 8 – Exposição diária à vibração e limites de exposição de acordo com a Diretiva 2002/44/EC. Adaptado de Vallone et al. (2016).

Os autores expuseram que, à medida que a idade do veículo aumenta, as características de solo se tornam menos importantes. Percebe-se também que os tratores “T5” e “T6” mostraram valores de exposição superiores ao estabelecido pela norma utilizada como

parâmetro, visto que foram os dois veículos mais antigos utilizados no estudo, conforme apresentado anteriormente na Tabela 2. Devido à interferência sobre a exposição a VCI quanto ao tipo de solo e às horas trabalhadas do veículo, os autores sugeriram que tais informações sejam consideradas como fatores chave no que tange à avaliação da exposição a VCI.

Zanatta (2017), estudou a exposição ocupacional de pilotos agrícolas e os sintomas musculoesqueléticos, tais como dores lombares e dores dorsais, associados à exposição. O estudo foi elaborado em quatro diferentes modelos de aeronaves, com períodos de medições variando segundo o tipo de trabalho realizado. As principais considerações a respeito do estudo foram o modelo de aeronave e a influência das condições da faixa de rodagem dos aviões, que poderiam favorecer o aumento da magnitude de vibração. O autor submeteu os participantes da pesquisa a um questionário de anamnese a fim de caracterizar a amostra utilizada em estudo e identificar a prevalência de sintomas musculoesqueléticos acometidos pelos pilotos. Com base nos relatos dos próprios participantes, o autor pôde representar os principais sintomas por meio da Figura 9.

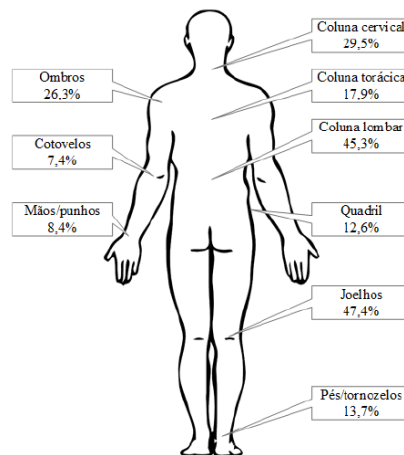


Figura 9 – Gráfico de prevalência de sintomas musculoesqueléticos em pilotos agrícolas. Adaptado de Zanatta, 2017.

A partir das informações obtidas por meio da Figura 9 e dos valores de exposição adquiridos em seu estudo, o autor utilizou uma equação condicionada de probabilidade a fim de estimar a chance de que cada piloto pudesse desenvolver doenças musculoesqueléticas conforme o tempo de exposição. De acordo com o autor, o modelo logístico utilizado seria capaz de prever corretamente em 72,3% dos casos.

Picoral Filho et al. (2019), em seu estudo realizado na cidade de Canoas, Rio Branco, Brasil, analisou a intensidade das vibrações quanto ao grau de conforto para dois tipos de caminhões de transporte de carga: Volkswagen Constellation 24280 e Ford Cargo 2422. Os

caminhões foram analisados por um percurso de 14,28 km em pavimento misto, sendo 13,67 km de asfalto e 0,61 km de paralelepípedo, adotando duas diferentes velocidades médias, 40 km/h e 60 km/h. No estudo, os autores concluíram que o grau de conforto era maior para veículos pesados com grandes distâncias entre eixos, e que o grau de risco à exposição era diretamente proporcional ao aumento da velocidade média e ao aumento de irregularidades no pavimento. Os autores também evidenciaram que o grau de conforto estava diretamente relacionado à velocidade média adotada, ao tipo de pavimento e ao modelo de veículo. Para uma configuração de trabalho de oito horas diárias com percurso misto, como apresentado no estudo, apenas o motorista referente ao modelo Constellation 24280 estaria na zona limite de exposição.

Lynas e Burgess-Limerick (2019) realizaram, na Austrália, um estudo sobre a exposição a VCI em motoristas de escavadeiras utilizadas em minas. Os autores evidenciaram a importância do uso de componentes de exposição com longos períodos para garantir uma melhor análise quanto à exposição a VCI. Estudos já realizados e referidos pelos autores apresentaram componentes de curtos períodos de exposição, que poderiam não ser coerentes com as complexas tarefas às quais os motoristas eventualmente estavam submetidos durante a diária de trabalho.

Santos e Nunes (2019) avaliaram a comparação entre a exposição a VCI em um motorista de ônibus escolar, utilizando repetições de componentes, projetando-as a um dia de trabalho normalizado. Foi verificado que, ao manter as condições diárias de rota, motorista e veículo fixas, a utilização de apenas parte da exposição diária, projetando-a a uma jornada integral por meio de repetições, apresentava resultados similares à mensuração de exposição integral. Entretanto, para situações como as apresentadas por Nunes e Silva (2015), nas quais existem variações de condições de pista em um mesmo trajeto, haveria necessidade de uma análise utilizando componente integral de exposição.

Todos os pesquisadores supracitados abordaram a exposição à vibração como um fator de risco ocupacional, apesar dos diferentes critérios de julgamento adotados. As principais normativas apresentadas na bibliografia deste estudo quanto à exposição a VCI são: ISO 2631(1997), BS 6841 e a Diretiva Europeia 2002/44/CE. No Brasil, a regulamentação de limites de exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro é informada através da Norma Regulamentadora nº15 (NR-15), criada em 8 de junho de 1978 pela portaria MTB nº 3214, e a metodologia utilizada é descrita por meio da Norma de Higiene Ocupacional 09, (NHO 09), criada em 2013 pela parceria do antigo Ministério do Trabalho e a Fundacentro – Fundação Jorge Duprat e Figueiredo (IPEA, 2012; NHO 09, 2013).

2.2 EXPOSIÇÃO AO RUÍDO OCUPACIONAL

A redução da capacidade auditiva é uma doença que compromete a comunicação em cerca de 10% das pessoas com idade superior a 65 anos. Entretanto, devido ao tempo e intensidade de exposição a ruído em alguns ambientes de trabalho, cerca de 50% dos trabalhadores com idade inferior a 50 anos já apresentam redução da capacidade auditiva. A Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR) é considerada a doença ocupacional mais comum pelo Instituto Nacional de Saúde no Trabalho (INST), e é avaliada pelo nível de pressão sonora a que o trabalhador está exposto e pelo tempo de exposição. De acordo com a NR-15 – Atividades e Operações Insalubres – Anexo I, quanto maior o nível de pressão sonora, menor deverá ser o tempo permissível à exposição (INST, 2000; NHO 01, 2001).

Além da perda auditiva, a exposição ao agente físico ruído pode desencadear sintomas adversos nos trabalhadores. A Organização Mundial de Saúde (OMS) define efeito adverso como uma mudança na morfologia, fisiologia ou vida útil que comprometa a capacidade funcional de um indivíduo. Estudos como os de Smith (2010) e Massa et al. (2012) apresentam a relação de exposição a ruído com distúrbios de sono, desempenhos cognitivos, disfunções do sistema imunológico, irritabilidade e fadiga. Outros estudos como os de Munzel et al. (2014), Girard et al. (2015) e Li et al. (2019), apresentam a relação da exposição ao ruído com o desenvolvimento de doenças cardiovasculares. Já Jafari et al. (2019), Kuang, Yu e Tu (2019) e Zhou et al. (2019) analisam o efeito de exposição a ruído quanto ao aumento da pressão sanguínea.

Clark et al. (2001), em seu estudo a respeito de caminhões betoneira, apresentaram o nível de exposição ao ruído ocupacional em motoristas de caminhão betoneira durante o procedimento de carregamento e retorno à usina de dosagem. A média das medições realizadas para o procedimento de carregamento correspondeu a 86,5 dB(A). Para o processo de retorno à usina de dosagem, com as janelas fechadas, foi obtido um valor médio de 82,7 dB(A). Em quatorze das dezesseis medições realizadas pelo autor apresentaram valor de exposição superior ao valor padrão de 85 dB(A) definido pela OSHA, sendo necessária a implementação de medidas de controle.

Munzel et al. (2014) realizou uma revisão sobre os efeitos adversos a respeito da exposição a ruído. O autor indicou o distúrbio de sono como o pior efeito adverso gerado devido à tal exposição. De acordo com o mesmo, um período de sono inferior a seis horas estaria associado ao desenvolvimento de diabetes, hipertensão, doenças cardiovasculares e estresse. Em seu resumo, concluiu que o ruído não causa apenas irritação, distúrbio de sono e redução

da qualidade de vida, mas também reforça a afirmação de que contribui como principal fator para o desenvolvimento de hipertensão e doenças cardiovasculares.

Girard et al. (2015) analisou a ocorrência de doenças cardiovasculares em trabalhadores aposentados que foram expostos a ambientes ruidosos durante suas carreiras de trabalho. Por meio do Quebec National Institute of Public Health e o Quebec Institute of Statistics, o autor pôde combinar dados de trabalhadores, relacionando as condições de trabalho com doenças cardiovasculares fatais. O estudo apresentou uma associação forte estatística de longas durações ocupacionais (> 35 anos) e níveis de exposição (> 80 dBA) com óbitos após a aposentadoria.

Li et al. (2019) estimou a prevalência de hipertensão, problemas cardiovasculares e dificuldade de comunicação em trabalhadores expostos a ruído por longos períodos (trinta a quarenta e cinco anos) em Najing, China. O autor encontrou, em sua pesquisa, a associação de perda auditiva e hipertensão à exposição dos trabalhadores em ambientes ruidosos. O mesmo ainda estimou que trabalhadores expostos a ambientes ruidosos por período superior a dez anos possuem maior associação à perda auditiva e hipertensão.

Conforme Alziadeh et al. (2016), o ruído é considerado um desafio a saúde, especialmente em áreas urbanas que possuem trânsito intenso. De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os veículos rodoviários automotores são uma das principais fontes de ruído no meio ambiente. Além do ruído, motoristas estão expostos a jornadas de trabalhos exaustivas, riscos de acidentes de trânsito e hábitos alimentares inadequados (BRASIL, 2000; CONTO, GERGES E GONÇALVES, 2018).

Estudos como os de Alziadeh et al. (2016), Guardiano, Chagas e Junior (2016), Conto, Gerges e Gonçalves (2018), Ahmad, Raza e Waheed (2018), Jamalizadeh et al. (2018) e Peng et al. (2018) buscaram caracterizar o nível de exposição ocupacional a ruído em motoristas profissionais. Alziadeh et al. (2016) apresentou, em sua pesquisa realizada em Mazandaran, Irã, um estudo em 2260 motoristas de ônibus e caminhões. A princípio, os participantes da pesquisa foram submetidos a testes audiométricos e exames sanguíneos. Em seguida, os dados obtidos foram submetidos a análises descritivas e regressão logística. O autor pôde constatar que os motoristas em estudo, classificados pelo mesmo como motoristas de veículos pesados, apresentaram maior perda auditiva na frequência de 6 kHz.

Guardiano, Chagas e Junior (2016), buscaram investigar a prevalência de PAIR em motoristas de ônibus urbanos na cidade de Curitiba, Brasil. Foi utilizada uma amostra de cento e vinte e dois motoristas submetidos a exames audiométricos. De posse dos exames, os autores

estabeleceram a relação da perda auditiva com a idade dos motoristas em estudo, conforme a Figura 10.

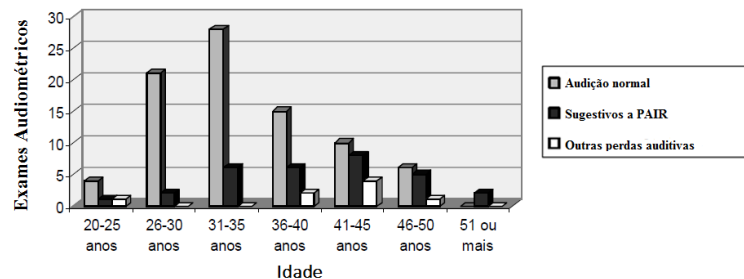


Figura 10 – Distribuição audiométrica da amostra em estudo.
Adaptado de Guardiano, Chagas e Junior, 2016.

Os autores apontaram que, com exceção da amostra mais jovem, a relação de perda auditiva se mostrou proporcional à idade dos motoristas. A classificação “outras perdas auditivas” não foi exemplificada pelos autores. Os motoristas apresentaram perda auditiva sugestiva na frequência de 6 kHz, coerente com o estudo apresentado por Alziadeh et al. (2016).

Ahmad, Raza e Waheed (2018) investigaram o impacto do ruído na capacidade auditiva em motoristas de transportes civis, na cidade de Faisalabad, Paquistão. Foi selecionada uma amostra igual a vinte e cinco motoristas para quatro diferentes grupos: motoristas de riquixá, motoristas de táxi, motoristas de carroça e motoristas de ônibus, totalizando cem motoristas em estudo. Os participantes foram, inicialmente, submetidos a um questionário a respeito de sua atividade laboral, como: horas diárias trabalhadas, total de dias trabalhados na semana, uso de equipamentos de proteção ao ruído, dentre outras. Após a aplicação do questionário, todos os participantes foram submetidos ao exame de audiometria. Apesar de os autores não terem discriminado qual grupo de motoristas apresentou maior exposição a ruído, por meio dos exames audiométricos foi constatado que 65% dos participantes apresentaram perda auditiva, 25% se encontravam no limiar da perda auditiva e apenas 10% não apresentavam problemas devido à exposição a ruído. Os autores concluíram o estudo expondo o alerta de que os motoristas de transportes civis da cidade de Faisalabad estavam expostos a níveis intensos de ruído devido ao tráfego urbano.

Conto, Gerges e Gonçalves (2018) realizaram sua pesquisa em Santa Catarina, Brasil. Foi aplicado um questionário sobre percepção de efeitos auditivos e estimada a dose diária de exposição em dezessete mototaxistas. Apesar de os mototaxistas não terem relatado desconforto referente à exposição a ruído no questionário, foram observadas características de perda auditiva em 29,4% da amostra estudada, por meio de exames audiométricos. Todos os indivíduos em estudo apresentaram dose diária de vibração acima do limite permitido.

Peng et al. (2018) investigaram, em seu estudo realizado na China, a perda auditiva em maquinistas no grupo China Railway Guangzhou Group. De acordo com os autores, este foi o primeiro estudo realizado na China que buscou relacionar a perda auditiva a essa classe de trabalhadores. Foram selecionados 1214 participantes, que possuíam rotas fixas e trabalhavam cento e sessenta e sete horas por mês. A princípio, os trabalhadores foram submetidos a exames audiométricos e em seguida, ao questionário de anamnese. O questionário continha perguntas antropométricas, como massa corporal e altura; uso de drogas, como álcool e cigarro; e histórico de saúde familiar, envolvendo problemas relacionados à hipertensão e diabetes. Os participantes também foram submetidos a exames médicos para análise do nível de colesterol. Para os autores, tais características são consideradas fatores potenciais para o desenvolvimento da perda auditiva. Em resumo, foi encontrada uma forte associação entre a exposição a ruído por maquinistas e a perda auditiva, e os autores afirmaram ter obtido contribuições significativas para a saúde ocupacional. Entretanto, sugeriram a realização de estudos futuros com mais participantes a fim de se confirmar a associação encontrada.

Jamalizadeh et al. (2018) investigou em Qazvin, Irã, a associação da exposição a ruído gerado pelo tráfego urbano com perda auditiva e possíveis alterações comportamentais em uma amostra de setenta taxistas. A rota percorrida pelos taxistas foi composta por sete ruas consideradas ruidosas com base nos dados fornecidos pelo departamento de gestão de taxistas. O critério de inclusão adotado para a escolha dos motoristas consistia em o motorista aceitar participar da pesquisa e efetuar diariamente a rota definida para estudo, possuir mais de um ano de experiência como motorista, e não fazer uso de drogas. A estratégia de avaliação utilizada pelos autores teve como base a ISO 9612 – *Acoustics – Determination of occupational noise exposure – Engineering method*, que sugere diferentes meios de avaliação da exposição ao ruído ocupacional. A medida adotada pelos autores foi a de acompanhamento integral dos indivíduos durante a jornada de trabalho, realizando a estimativa de nível de pressão sonora (L_{eq}) para oito horas diárias. Os autores caracterizaram os níveis de pressão sonora para os turnos matutino e noturno conforme a Tabela 3, em que o período noturno apresentou maior contribuição para a exposição a ruído. Para os autores, o tráfego urbano é mais intenso no período noturno do que no período matutino, o que poderia justificar tal diferença de exposição.

**Tabela 3 – Características acústicas gerais.
Adaptado de Jamalizadeh et al., 2018.**

Características Acústicas	Mínimo – dB(A)	Máximo – dB(A)
Matutino – Leq	76,75	79,99
Noturno – Leq	79,20	81,52
Leq (8h)	78,2	80,77

Ainda de acordo com os autores, a principal contribuição referente à pesquisa desenvolvida foi a caracterização de exposição a ruído por taxistas em tempo integral de trabalho. O nível de pressão sonora obtido, conforme foi apresentado na Tabela 3, é inferior ao limite de 85 dB(A) estabelecido pela OMS; entretanto, superior ao limite de conforto estabelecido pela NR-17 – Ergonomia – Condições Ambientais de Trabalho de 65 dB(A). As alterações comportamentais, como violações intencionais ou não intencionais das regras de trânsito, estresse e erros ao dirigir, apresentaram associação positiva à exposição a ruído. Os autores concluíram que, apesar de os taxistas em estudo não possuírem relação com a perda auditiva, o ruído proveniente do tráfego urbano produzia alterações comportamentais nos motoristas. Tais alterações podem estar relacionadas à dose de ruído superior ao limite de conforto estabelecido em norma. Os autores sugeriram mudanças organizacionais e medidas de controle ao ruído a fim de melhorar o ambiente de trabalho dos motoristas avaliados.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O presente capítulo apresenta os conceitos utilizados para o desenvolvimento do estudo, as normativas aplicadas e a metodologia normativa utilizada para estimar a exposição ao ruído e VCI.

3.1 VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO (VCI)

A exposição a VCI ocorre pelo contato de uma pessoa com uma superfície vibratória, que por sua vez, transmite a energia da vibração a todo o corpo humano, como por exemplo: um motorista sentado na poltrona de um veículo, ou um funcionário realizando atividades sobre uma plataforma móvel.

Devido ao fato de o corpo humano ser uma estrutura biomecânica complexa, a sensibilidade à vibração pode envolver diversos fatores, como postura, tensão muscular, amplitude, direção e duração; além de cada órgão ou parte do corpo possuir diferentes frequências naturais, conforme ilustrado pela Figura 11. Cada parte do corpo humano, como ossos, músculos e articulações, possui diferentes propriedades de massa, rigidez e amortecimento, o que pode atenuar ou amplificar excitações externas. (GRIFFIN, 1990; BALBINOT e TAMAGNA, 2001; ANFLOR, 2003; STAYNER, 2001; IIDA, 2011).

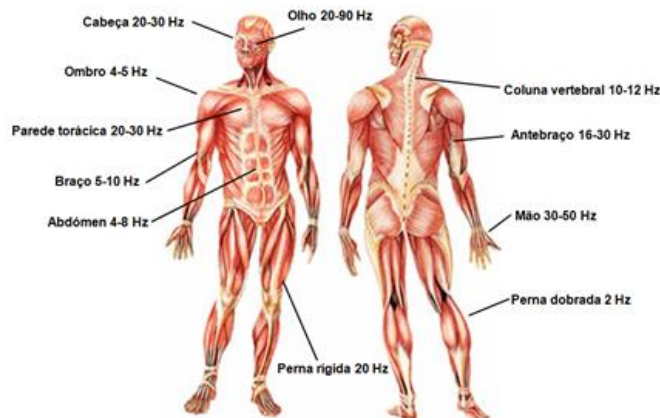


Figura 11 – Faixas estimadas de frequências naturais do corpo humano. Moore apud Pardal, 2015.

Os efeitos relacionados a VCI estão diretamente correlacionados à frequência de excitação externa e ao tempo de exposição. Para Griffin (1990), autor de um dos primeiros estudos a respeito dos efeitos negativos da exposição a VCI, as frequências mais associadas a

VCI quanto à saúde e ao conforto humano variam de 0,5 a 100 Hz, assim como ilustrado no modelo apresentado pela Figura 11. Tal estimativa pôde ser obtida por meio de estudos sistemáticos em laboratório, que produziram mudanças referentes à avaliação de desconforto nos participantes do estudo conforme os diferentes estímulos vibratórios aplicados. Vale ressaltar que as frequências naturais do corpo humano podem apresentar variações de indivíduo para indivíduo. Quando a energia de excitação externa entra em ressonância com as partes do corpo humano, o indivíduo pode apresentar sintomas diretos, como epidemiologias, ou indiretos, como problemas cognitivos e psicológicos. Os efeitos diretos afetam diretamente a saúde do indivíduo, enquanto os efeitos indiretos podem afetar suas atividades diárias quanto à percepção ou gerar desconforto (SOUZA, 2015 apud GERGES, 2000; STAYNER, 2001; MANSFIELD, 2005).

Os efeitos diretos resultantes de VCI são normalmente associados à coluna vertebral humana e ao seu sistema musculoesquelético. A coluna vertebral é a parte mais complexa do sistema locomotor humano. Suas funções principais, são: proteger a medula espinhal, apoiar a cabeça, pescoço e membros superiores, e transferir a carga da cabeça e tronco até a pélvis, além de permitir variados movimentos (OZKAYA, 2000).

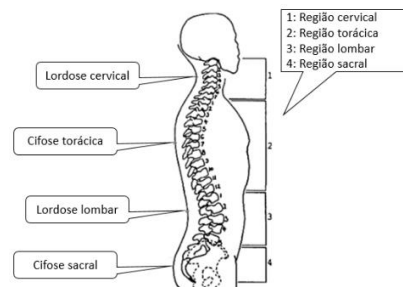


Figura 12 – Regiões da coluna vertebral.
Adaptado de Ozkaya et al., 2000.

A coluna vertebral, conforme ilustrado pela Figura 12, possui vinte e quatro vertebrae, que são distribuídas em quatro regiões: cervical, torácica, lombar e sacral. Entre cada par de vertebrae da coluna existe um disco fibrocartilaginoso que possui as funções de sustentar as cargas transmitidas, eliminar o contato osso-osso e reduzir os efeitos das forças de impacto. Com o passar do tempo, os discos podem se degenerar em função dos esforços sofridos pela coluna, o que resulta em doenças como a lombalgia.

Segundo Punnett et al. (2005), a lombalgia pode ser definida como qualquer distúrbio osteomuscular não traumático que afeta a região inferior das costas, e que não seja secundário a outros tipos de lesões ou doenças. De acordo com o antigo Ministério do Trabalho do Brasil,

a lombalgia possuía lugar de destaque entre as causas de concessão de auxílio-doença previdenciário e aposentadoria por invalidez (MTB, 2001).

A portaria nº 1339, de 18 de novembro de 1999 e a Classificação Internacional de Doenças (CID), reconheceram a lombalgia como uma Doença Osteomuscular Relacionada com o Trabalho (DORT). As DORTs, conforme o Centro de Controle e Prevenção de Doenças [*Centers for Disease Control and Prevention* (CDC)], são lesões ou distúrbios em músculos, nervos, cartilagens e discos da coluna vertebral. Os distúrbios musculoesqueléticos podem estar associados a movimentos excessivos ou prolongados, contínuos ou repetitivos, manuseio incorreto de cargas, e má postura causada pela utilização de equipamentos ou por tarefas desenvolvidas no ambiente de trabalho (ZANATTA, 2017; KELSEY AND WHITE, 1980; SILVA, 2012).

3.1.1 Normativas para Avaliação de Vibrações de corpo Inteiro (VCI)

Como forma preventiva aos efeitos causados pela exposição a VCI, são estimados pelas normativas vigentes, limites de exposição à vibração a que os trabalhadores podem estar expostos, bem como a metodologia para quantificar tais níveis de exposição. A partir da revisão bibliográfica elaborada, as principais normativas internacionais constatadas em trabalhos acadêmicos foram a ISO 2631-1 (1997), a BS 6841 (1887) e a Diretiva Europeia 2002/44/CE. Ainda que tais normativas apresentem senso comum quanto aos malefícios da exposição a VCI, as mesmas podem divergir em suas metodologias ou limites permissíveis de exposição.

A regulamentação e as disposições referentes à saúde e à segurança dos trabalhadores no Brasil estão previstas na Consolidação das Leis de Trabalho (CLT), e efetivadas por meio de Normas Regulamentadoras (NRs), às quais o cumprimento é obrigatório para todas as empresas públicas e privadas regidas pela CLT.

No dia 13 de Agosto de 2014, o Ministério do Trabalho e Emprego publicou, por meio da portaria MTE nº 1.297, a alteração do texto referente ao Anexo VIII – Vibração, da NR15 – Atividades e Operações Insalubres. Anteriormente à alteração do texto, os limites de tolerância estabelecidos, os critérios de julgamento, e a metodologia utilizada para a avaliação da exposição a VCI eram baseados na *International Standards Organization*, por meio da norma ISO 2631-1 – *Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration*. Após a alteração do Anexo VIII da NR-15, os critérios de julgamento, metodologia e limites de exposição passaram a ser estabelecidos pela Norma de Higiene Ocupacional NHO 09 – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro. Vale ressaltar que a

confeção da NHO 09 quanto à interpretação da exposição a VCI teve como referência a norma ISO 2631-1.

3.1.1.1 ISO 2631 (1997) – Avaliação da exposição humana às Vibrações de Corpo Inteiro (*Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration*).

A norma tem o intuito de definir procedimentos de coleta de dados e níveis de limites aos quais a exposição pode ser considerada prejudicial à saúde e ao conforto em ambientes de trabalho. A norma ISO 2631 foi publicada pela primeira vez em 1974 e sua última revisão foi realizada em 1997, o que dividiu a normativa em cinco partes:

Parte 1: Requerimentos Gerais (*General Requirements*), que apresenta definições básicas, curvas de ponderação em frequência e metodologia para estimar a exposição a VCI.

Parte 2: Vibrações em Edifícios (*Vibration in Buildings*), referente à exposição a VCI em edifícios, no que diz respeito ao conforto e irritação. Esta especifica um método para medição e avaliação que depende do local da medição.

Parte 3: Avaliação da Exposição de Corpo Inteiro no Eixo Vertical Z para a Faixa de Frequência de 0,1 a 0,63 Hz (*Evaluation of Exposure to Whole-Body Z-Axis Vertical Vibration in The Frequency Range 0,1 to 0,63 Hz*), que aborda a exposição humana a VCI na faixa de frequência de 0,1 a 0,63 Hz.

Parte 4: Diretrizes para a Avaliação dos Efeitos da Vibração e do Movimento Rotacional no Conforto dos passageiros em Sistemas de Trânsito em Vias Fixas (*Guidelines for the Evaluation of the Effects of Vibration and Rotational Motion on Passenger and Crew Comfort In Fixed-Guideway Transport Systems*), que aborda a contribuição dos movimentos de rotação no que diz respeito ao conforto de passageiros em transportes sobre trilhos.

Parte 5: Método para Avaliação a Vibração Contendo Múltiplos Choques (*Method for Evaluation of Vibration Containing Multiple Shocks*), que estabelece procedimentos para estimar VCI provenientes de múltiplas contribuições.

As principais alterações a respeito da exposição a VCI, após sua atualização, foram a ausência de limites fixos para exposição e a retirada do conceito de “proficiência reduzida pela fadiga”.

A exposição ocupacional a VCI é medida nos movimentos provenientes de máquinas ou equipamentos em ambientes de trabalho e como ocorre a transmissão acerca da energia vibratória ao corpo humano.

Relativo à transmissão de energia vibratória, o indivíduo pode se encontrar na posição em pé ou deitada, como em uma plataforma, ou na posição sentada, como ao operar um veículo automotor. Para as posições em pé ou sentada, a direção “z” se encontra ao longo do eixo normal ao plano do chão, a direção “x” corresponde ao movimento frente-trás e a direção “y” corresponde ao movimento lado a lado, conforme ilustrado na Figura 13.

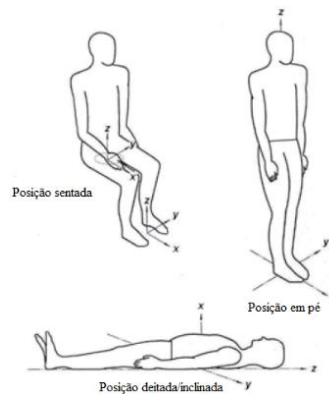


Figura 13 – Variações de eixos ortogonais devido à posição do trabalhador. ISO 2631-1.

A medição deve ocorrer pela fixação de um acelerômetro do tipo triaxial na superfície vibratória de interface com o trabalhador. Segundo a ISO 2631-1, a avaliação deve ser realizada com base na magnitude de vibração em valores quadráticos médios [*Root mean square (r.m.s)*]. Porém, dois métodos alternativos de avaliação são sugeridos: a Dose de Valores de Vibração elevados à quarta potência [*daily fourth power Vibration Dose Value (VDV)*] e o Valor Máximo de Vibração Transitória [*Maximum Transient Vibration Value (MTV)*] que dependem do fator de crista e do tempo de integração, respectivamente. Os parâmetros devem ser medidos nas três direções ortogonais simultaneamente (“x”, “y” e “z”), e ponderados de acordo com as curvas de ponderação dispostas pela norma, conforme Figura 14.

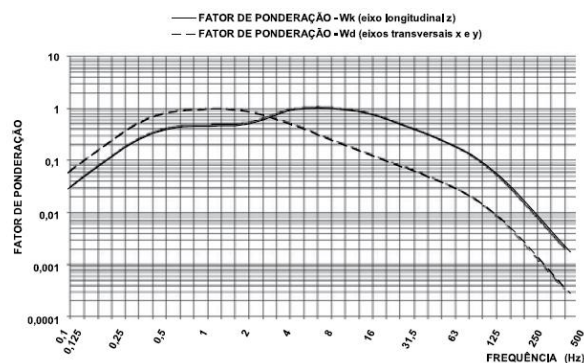


Figura 14 – Curvas de ponderação em frequência a VCI para os eixos “x”, “y” e “z”. NHO 09 apud ISO 2631:1, 1997.

Segundo Schust et al. (2010), a ponderação apresentada pela ISO 2631-1 teve origem na década de 1970, a partir de experimentos em laboratório quanto à avaliação de desconforto provocado por VCI. Embora os autores do experimento não validem a hipótese de que o risco à saúde seja proporcional à dor e ao desconforto, o método segue sendo utilizado para avaliações de VCI.

No que diz respeito às posições em pé ou sentada, são utilizadas as ponderações Wd para os eixos “x” e “y” e Wk para o eixo “z”. A ponderação Wk corresponde a um fator de multiplicação ff de 1,0; e a ponderação Wd a um fator ff de 1,4. Após a aquisição dos dados de aceleração ponderados em frequência, para a obtenção da exposição diária [*Daily Vibration Exposure* ($A(8)$)] [m/s^2], indicada pela Equação [1], os valores obtidos devem ser determinados para cada eixo ortogonal separadamente.

$$A(8) = A_w \sqrt{\frac{T}{T_0}}. \quad [1]$$

Em que A_w corresponde ao valor de aceleração ponderada dominante ao eixo de exposição; T representa a duração de exposição; e T_0 representa a carga horária diária de trabalho normalizada em 8 h ou 480 min. Caso não exista grande divergência nos valores de aceleração obtidos entre os três eixos ortogonais, A_w deve ser utilizado como a soma da média quadrática entre os três eixos de exposição $A_{w_{sum}}$ [m/s^2], conforme Equação [2]:

$$A_{w_{sum}} = [(fjxA_{wx})^2 + (fjxA_{wy})^2 + (fjxA_{wz})^2]^{\frac{1}{2}}. \quad [2]$$

Não é identificado pela norma ISO 2631-1 o quão grande deve ser a divergência entre os valores de aceleração para se aplicar o conceito de dominância de um eixo, sendo assim, o poder de decisão fica a critério do pesquisador. Se o trabalhador estiver exposto a mais de uma fonte de vibração, como ao operar diferentes veículos durante o dia, por exemplo, a estimativa da exposição total $A_{w_{ji}}$ [m/s^2] deverá ser realizada pela soma de cada direção ortogonal j (“x”, “y” e “z”) e quantidade de fontes i , conforme Equação [3]. As contribuições de exposição são somadas separadamente para cada eixo e $A(8)$ é representado pelo valor máximo dos três eixos, quando utilizado o conceito de dominância, ou pela soma da média quadrática, assim como indicado pela Equação [2].

$$A_{w_{ji}} = [(fjxA_{ji1})^2 + (fjxA_{ji2})^2 + \dots + (fjxA_{jin})^2]^{\frac{1}{2}}. \quad [3]$$

O método *r.m.s* é recomendado para exposições contínuas, livres de choques ou alterações bruscas. O Fator de Crista (FC), indicado pela Equação [4], é o módulo da razão entre o máximo valor de pico e o valor de aceleração, ambos ponderados em frequência, e caracteriza a necessidade avaliativa de um parâmetro adicional ao *r.m.s*.

$$\text{Fator de Crista (FC)} = \frac{\text{Peak}}{\text{rms}} > 9. \quad [4]$$

Nos casos em que o Fator de Crista apresentar valor superior a nove, deve-se utilizar o parâmetro *VDV* como complementar ao *r.m.s*. O *VDV(8)* é um parâmetro cumulativo, ou seja, aumenta conforme o tempo de medição; e devido a fazer uso da quarta potência, valores de picos e de transições possuem maior peso durante a integração. O valor de *VDV(8)* [m/s^{1,75}] pode ser obtido conforme Equação [5]:

$$\text{VDV}(8) = \text{VDV}_{jxfj} \left(\frac{T_{exp}}{T_{meas}} \right)^{\frac{1}{4}}. \quad [5]$$

Em que T_{exp} corresponde ao tempo total de exposição à vibração, decorrente da diária de trabalho; e T_{meas} corresponde ao tempo total utilizado para a medição.

Assim como no método *r.m.s*, caso existam diferentes fontes de vibração, a soma de cada direção ortogonal j deverá ser realizada individualmente, conforme Equação [6]:

$$\text{VDV}_j = [(\text{VDV}_{j1})^4 + (\text{VDV}_{j2})^4 + \dots + (\text{VDV}_{jn})^4]^{\frac{1}{4}}. \quad [6]$$

O valor representativo ao *daily fourth power Vibration Dose Value (VDV (8))* será o maior dos três eixos, conforme conceito de dominância, ou pela soma dos três eixos ortogonais, indicado pela Equação [7], assim como realizado no método *r.m.s*, no qual VDV_{sum} [m/s^{1,75}] equivale ao *VDV (8)*.

$$\text{VDV}_{sum} = [(fjx\text{VDV}_x)^4 + (fjx\text{VDV}_y)^4 + (fjx\text{VDV}_z)^4]^{\frac{1}{4}}. \quad [7]$$

Outra magnitude útil em investigações de vibração humana com valores transitórios é o *MTVV*. Esses têm um tempo curto de integração (1s) e, portanto, estão bem adaptados para indicar a magnitude de eventos de curta duração. Ainda que os valores *VDV* ou *MTVV* sejam utilizados, os valores *r.m.s* devem ser informados.

A norma, apesar de não constituir critérios legais em si própria, apresenta em seu texto as considerações de cautela para exposições entre quatro e oito horas, e considerações subjetivas de conforto e percepção relacionadas à exposição a *VCI*. Cabe salientar que fatores como calor, exposição ao ruído, e tempo de exposição podem interferir na percepção dos passageiros. Em

relação à zona de cautela, a norma apresenta por meio de gráfico, regiões de precaução, conforme Figura 15.

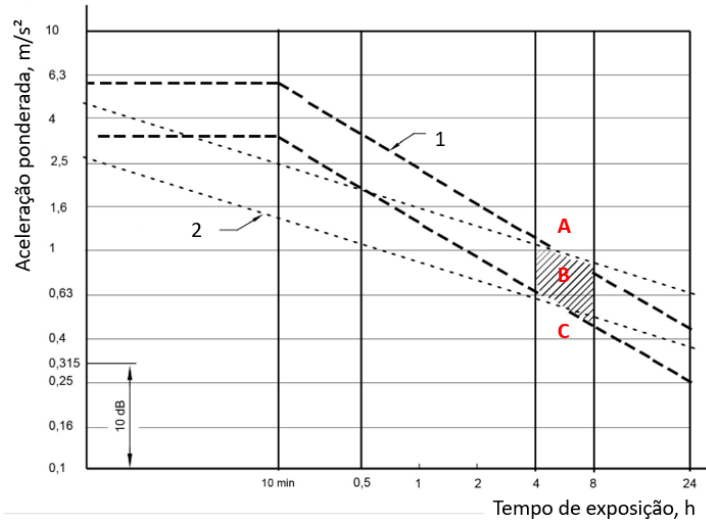


Figura 15 – Zona de cautela para exposições entre 4 e 8 h.
Adaptado de Almeida, 2015.

O gráfico apresenta dois pares de curvas sobre a resposta à vibração relacionada com o tempo de exposição, indicadas na Figura 15 por “1” (linha tracejada) e “2” (linha sólida), e que correspondem às Equações [8] e [9], respectivamente.

$$a_{w1}T_1^{1/2} = a_{w2}T_2^{1/2}. \quad [8]$$

$$a_{w1}T_1^{1/4} = a_{w2}T_2^{1/4}. \quad [9]$$

Os pares partem da relação entre vibração e energia, em que: a_{w1} e a_{w2} são valores eficazes ponderados da primeira e segunda exposição, respectivamente; e T_1 e T_2 são as durações correspondentes a cada exposição.

A região superior representada pela letra “A” indica onde os efeitos negativos são prováveis. A região demarcada pela letra “B” corresponde à zona de cautela em relação aos riscos potenciais à saúde. E para a região inferior indicada pela letra “C”, os efeitos negativos não foram, até a época, documentados ou observados de forma clara e conclusiva.

Quanto às orientações a respeito do conforto, a norma afirma pretender indicar a severidade subjetiva para cada passageiro sem necessariamente estipular limites fixos de exposição. Os valores aproximados de aceleração e sua associação às prováveis reações dos passageiros quanto ao conforto, estipulados pela ISO 2631-1, estão apresentados conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Considerações subjetivas ao conforto e percepção à exposição a VCI. ISO 2631-1, 1997.

Aceleração rms (m/s ²)	Classificação
<0,315	Confortável
0,315 – 0,63	Pouco desconfortável
0,5 – 1,0	Bastante desconfortável
0,8 – 1,6	Desconfortável
1,25 – 2,5	Muito desconfortável
2,0>	Extremamente desconfortável

Para Griffin (1998), o método proposto pela ISO 2631-1 teria a desvantagem de diluir a aceleração *r.m.s* medida pela prorrogação do tempo de medição, incluindo então períodos de baixas magnitudes, o que não ocorre com o parâmetro *VDV*.

3.1.1.2 BS 6841 (1987) – Medição e Avaliação da Exposição Humana à Vibração Mecânica de Corpo Inteiro e Choque Repetido (*Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock*).

A BS 6841, bem como a ISO 2631, utiliza os três eixos translacionais na superfície de contato com o trabalhador. Em adição a estes, faz uso do eixo referente ao movimento frente-e-trás do encosto do banco, como ilustrado na Figura 16.

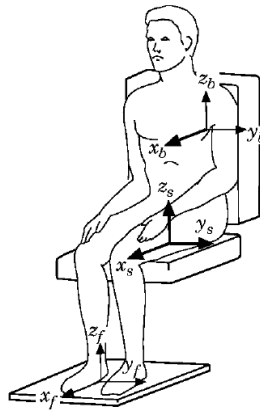


Figura 16 – Eixos ortogonais para medição da vibração. Adaptado de Griffin, 1998.

Para a obtenção dos valores *r.m.s*, a norma utiliza a mesma metodologia proposta pela ISO 2631-1. Entretanto, há diferentes ponderações utilizadas nos eixos de vibração vertical entre as duas normas: a ISO 2631-1 faz uso da ponderação *W_k*, enquanto a BS 6841, faz uso da ponderação *W_b*. De acordo com Paddan (2001), a ponderação *W_b* apresenta maior contribuição para altas frequências. Quanto à obtenção do parâmetro *VDV(8)*, a norma faz uso de quatro eixos ortogonais, conforme indicado pela Equação [10]:

$$VDV_{total} = (VDV_{xx}^4 + VDV_{yx}^4 + VDV_{zx}^4 + VDV_{xb}^4)^{\frac{1}{4}}. \quad [10]$$

Em que VDV_{total} [m/s^{1,75}] é o valor final da dose diária de vibração, VDV_{xx} , é a energia VDV na direção “x” no assento, VDV_{yx} é a energia VDV na direção “y” no assento, VDV_{zx} é a energia VDV na direção “z” no assento e VDV_{xb} é a energia VDV na direção “x” do encosto, conforme foi ilustrado na Figura 16.

Em relação à zona de precaução da saúde, a normativa ISO 2631-1 indica um valor limite de 17 m/s^{1,75}, enquanto a norma BS 6841 apresenta valores limites de 15 m/s^{1,75}. Para Paddan (2001), a norma BS 6841 é mais eficaz quando comparada à ISO 2631-1, por estipular um menor valor limite entre os dois critérios de saúde.

3.1.1.3 Diretiva Europeia 2002/44/CE

A Diretiva Europeia estabelece requisitos mínimos de proteção a trabalhadores quanto à saúde e segurança em decorrência de exposições a vibrações mecânicas. A avaliação é baseada no cálculo da exposição diária equivalente a oito horas de trabalho e a referência metodológica imposta segue a normativa ISO 2631. Em seu texto, a Diretiva Europeia estabelece valores limites de exposição, conforme mostra a Tabela 5.

**Tabela 5 – Limites de exposição a VCI.
Diretiva Europeia 2002/44/CE.**

Exposição a VCI	r.m.s (m/s²)	VDV (m/s^{1,75})
Valore de Ação	0,5	9,1
Valor Limite	1,15	21

Quando os valores de aceleração obtidos estiverem acima do Valor de Ação, devem ser adotadas medidas preventivas, tais como: melhoria na ergonomia dos equipamentos de trabalho, que visa produzir menor exposição a VCI, aumento da frequência de manutenção dos equipamentos de trabalho, etc. Já quando os valores obtidos estiverem acima do Valor Limite de exposição, devem ser imediatamente implementadas medidas corretivas, como modificação do processo de operação do trabalho e alternância entre as atividades desempenhadas pelo trabalhador, a fim de reduzir seu tempo de exposição a VCI.

Diferente da ISO 2631-1, a Diretiva Europeia permite a escolha de utilização, por parte de seus países membros, entre dois parâmetros avaliativos, o $VDV(8)$ e o $A(8)$, podendo estes países aplicar limites mais favoráveis aos trabalhadores. Em ambos os casos, o valor

representativo de exposição será o mais elevado dos valores correspondentes aos eixos ortogonais (1,4 x aw_x , 1,4 x aw_y e 1,0 x aw_z) para trabalhadores sentados ou em pé.

3.1.1.4 NHO 09 – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro (2013)

No Brasil, a normativa que atualmente estabelece critérios e procedimentos para análise da exposição ocupacional a VCI é a NHO 09 – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro. A norma descreve a metodologia que deverá ser empregada para avaliação de VCI segundo limites de exposição diários e critérios de julgamento quanto ao nível de exposição para quaisquer situações de trabalho em que a vibração seja transmitida ao corpo, esteja o indivíduo em pé, sentado ou deitado/inclinado.

Todos os valores de aceleração obtidos em análise são ponderados em frequência, utilizando as curvas de ponderação “ W_k ” para o eixo “z”, e “ W_d ” para os eixos “x” e “y”. As ponderações das acelerações instantâneas são realizadas em todos os eixos (“x”, “y” e “z”) e são baseadas nas definições estabelecidas pela ISO 2631-1. Em relação aos valores limites de exposição, a norma utiliza dois parâmetros básicos: a Aceleração Resultante de Exposição Normalizada ($aren$) e o Valor Dose de Vibração Resultante ($VDVR$). Este último adquire maior importância em ambientes nos quais o trabalhador sofra choques ou solavancos significativos.

Há uma ordem de cinco etapas de processamento quanto a aquisição do parâmetro $aren$. A primeira etapa se refere a Aceleração Média (am) [m/s^2], obtida pela integração dos valores da aceleração ponderada em frequência em instante de tempo t em m/s^2 , segundo um determinado eixo ortogonal j , conforme a Equação [11]:

$$am_j = \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a_j^2(t) dt \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad [11]$$

Em que a_j corresponde às acelerações instantâneas ponderadas em frequência nos eixos ortogonais (“x”, “y” e “z”) e “ $t_2 - t_1$ ” representa o intervalo da medição.

A segunda etapa se dá pela obtenção da Aceleração Média Resultante (amr) [m/s^2], conforme a Equação [12]. Corresponde à raiz quadrada da soma dos quadrados das acelerações médias am_j obtidas nos três eixos ortogonais.

$$amr = \sqrt{\sum (f_j \times am_j)^2}. \quad [12]$$

Em que am_j representa a aceleração média no eixo considerado j (“x”, “y” e “z”) e f_j corresponde ao fator de multiplicação representada para a aplicação da curva de Vibração a

Corpo Inteiro, conforme NHO 09 e ISO 2631. Para os eixos “x” e “y”, considera-se o fator de multiplicação de 1,4 e para o eixo “z” considera-se o fator de multiplicação de 1,0. De acordo com a NHO 09, o parâmetro amr pode ser obtido diretamente de um medidor integrador junto a um acelerômetro triaxial.

A partir da Equação [13], podemos obter a terceira etapa de cálculo: a Aceleração Resultante de Exposição Parcial ($arep_i$) [m/s^2]. Esta corresponde à aceleração média resultante representativa para cada componente de exposição i . Os critérios para definição sobre quantidade de componentes de exposição são descritos pela NHO 09.

$$arep_{ik} = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s amr_{ik}. \quad [13]$$

O parâmetro amr_{ik} representa a aceleração média resultante da k ésima amostra referente a componente de exposição i e s é o número total de amostras relativas a exposição i .

A quarta etapa acontece pela a obtenção da Aceleração Resultante de Exposição (are) [m/s^2], representada pela a aceleração média resultante diária. Considera os três eixos ortogonais “x”, “y” e “z” quanto as diferentes componentes de exposição, conforme a Equação [14].

$$are = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m n_i arep_i^2 T_i}. \quad [14]$$

O parâmetro $arep_i$ já obtido anteriormente será utilizado neste novo procedimento. O tempo de duração da jornada de trabalho é denominada por T , n_i é o número de repetições das componentes de exposições adotadas, T_i é o tempo de duração da componente e m é o número de componentes utilizadas.

E por fim, a última etapa é obtida através da Equação [15], que representa a Aceleração Resultante de Exposição Normalizada ($aren$) [m/s^2]. Esta etapa possui o intuito de converter a Aceleração Resultante de Exposição (are) para uma jornada diária padrão de oito horas.

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}}. \quad [15]$$

A unidade do tempo de acompanhamento diário do trabalho T pode ser expressa em horas ou minutos, assim como a padronização da jornada diária de trabalho T_0 , que pode ser adotada como 8 h ou 480 min.

A obtenção do *VDVR*, assim como a da *aren*, se dá pelo processo de cinco etapas de processamento de dados. A primeira etapa, referente ao Valor de Dose de Vibração (VDV_j) [$m/s^{1,75}$], é obtida a partir do método de dose de vibração à quarta potência, onde j representa os eixos ortogonais “ x ”, “ y ” e “ z ”; como demonstrado na Equação [16]:

$$VDV_j = \sqrt[4]{\int_0^t [a_j(t)]^4 dt} . \quad [16]$$

A aceleração instantânea já ponderada em frequência é denominado por a_j , e t é o tempo de duração da medição.

A segunda etapa de processamento é realizada através da Equação [17], onde é possível obter o Valor Dose de Vibração correspondente aos eixos “ x ”, “ y ” e “ z ” (VDV_{ji}) [$m/s^{1,75}$] considerando as possíveis componentes de exposição.

$$VDV_{ji} = \left[\sum_{k=1}^s (VDV_{jik})^4 \right]^{\frac{1}{4}} . \quad [17]$$

O Valor de Dose de Vibração VDV_{jik} é a seleção da k ésima amostra dentre as repetições das componentes i . O parâmetro s indica o número de amostras referentes à componente de exposição. Tal parâmetro pode ser extraído diretamente de um medidor integrador junto a um acelerômetro triaxial.

O Valor de Dose de Vibração de Exposição Parcial ($VDV_{exp_{ji}}$) [$m/s^{1,75}$] é obtido pela terceira etapa do processo. Corresponde ao valor de vibração representativo de exposição ocupacional diário nos eixos ortogonais j , relativo a componentes de exposição i , obtido pela aplicação da Equação [18].

$$VDV_{exp_{ji}} = f_i \times VDV_{ji} \times \left(\frac{T_{exp}}{T_{amos}} \right)^{\frac{1}{4}} . \quad [18]$$

Em que VDV_{ji} é o valor da componente de exposição medida no eixo j relativa a componente de exposição i , T_{exp} é o tempo total de exposição à vibração decorrente da componente i . Já o parâmetro T_{amos} , representa o tempo total utilizado para a medição de todas as componentes de exposição i em estudo. O parâmetro f_j corresponde ao fator de multiplicação representado para a aplicação da curva de Vibração a Corpo Inteiro, conforme NHO 09 e ISO 2631-1. Para os eixos “ x ” e “ y ”, deve-se considerar o fator de multiplicação de 1,4; e para o eixo “ z ”, considerar o fator de multiplicação de 1,0.

O Valor de Dose de Vibração de Exposição (VDV_{exp_j}) [$m/s^{1,75}$] obtido pela quarta etapa, representado pela Equação [19], corresponde ao valor representativo de cada eixo de exposição ocupacional diária medida.

$$VDV_{exp_j} = \left[\sum_{i=1}^m (VDV_{exp_{ji}})^4 \right]^{\frac{1}{4}}. \quad [19]$$

Em que o número de componentes de exposição diária é representado por m , e $VDV_{exp_{ji}}$ é o valor da dose de vibração da exposição ocupacional diária no eixo j , relativa à componente i .

Por fim, para representar a dose de vibração à exposição ocupacional diária considerando a resultante dos três eixos de medição, utiliza-se a Equação [20] para se obter o Valor de Dose de Vibração de Exposição Resultante (VDVR) [$m/s^{1,75}$]:

$$VDVR = \left[\sum_j (VDV_{exp_j})^4 \right]^{\frac{1}{4}}. \quad [20]$$

Seja VDV_{exp_j} o valor da dose de vibração de exposição ocupacional no eixo j , para j igual a “x”, “y” ou “z”.

De acordo com os valores de aceleração referentes aos parâmetros $aren$ e $VDVR$, a NHO 09 estabelece critérios de julgamento quanto à exposição diária a VCI, como demonstrado pela Tabela 6.

Tabela 6 – Critérios de julgamento à exposição de vibração de corpo inteiro.
Adaptado de NHO 09.

$aren$ (m/s^2)	VDVR ($m/s^{1,75}$)	Consideração técnica	Atuação recomendada
0 a 0,5	0 a 9,1	Aceitável	Manutenção das condições existentes
> 0,5 a < 0,9	> 9,1 a < 16,4	Acima do nível de ação	Medidas preventivas
0,9 a 1,1	16,4 a 21	Região de incerteza	Medidas preventivas e corretivas
Acima de 1,1	Acima de 21	Acima do limite de exposição	Medidas corretivas imediatas.

A partir dos níveis de exposição obtidos, caso necessário, deverão ser adotadas medidas preditivas e/ou corretivas, conforme indicado pela própria norma.

3.2 EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL AO RUÍDO

A audição é uma sensação fundamental à vida, e o órgão por ela responsável é a orelha, que pode ser dividida em três partes: orelha externa, orelha média e orelha interna, conforme ilustra a Figura 17 (OMS, 1995; NUDELMAN, 1997).

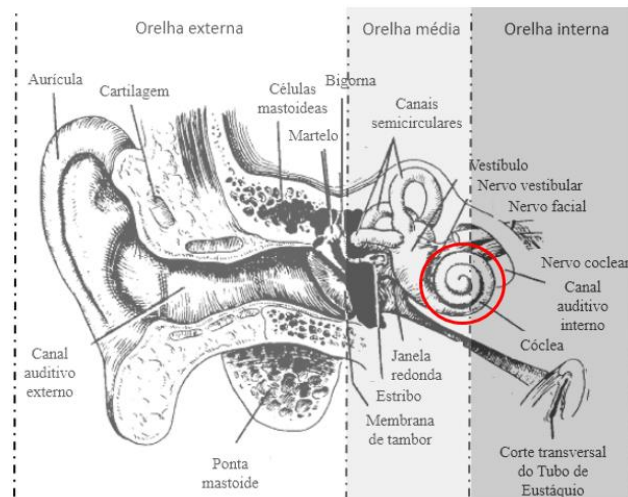


Figura 17 – Anatomia da orelha humana.
Adaptado de OMS, 1995.

A orelha externa, além da função protetiva às orelhas média e interna, possui a finalidade de coletar as ondas sonoras e dirigi-las para o canal auditivo. A orelha média é limitada externamente pela membrana de tambor ou timpânica e internamente pelo promontório, onde estão as janelas oval e redonda. Na região superior, encontra-se o antro com células do mastoide, e na região inferior, a abertura da Trompa de Eustáquio.

É na orelha interna que se encontra a Cóclea, identificada pelo círculo vermelho na Figura 17. A cóclea ou caracol são paredes ósseas enroladas em espiral, as quais possuem duas voltas e meia em torno de um osso chamado columela ou medíolo. A cóclea possui três tubos cocleares paralelos, sendo eles: a rampa vestibular, a rampa média e a rampa timpânica. Dentro da rampa média, sobre a membrana basilar, existe uma estrutura chamada de órgão de Corti, conforme ilustrado pela Figura 18 (OMS, 1995; NUDELMAN, 1997).

O órgão de Corti é uma estrutura receptora auditiva formada basicamente por células de sustentação e células receptoras ciliadas, e que funciona como um transdutor eletromecânico. O movimento vibratório da membrana basilar excita o órgão de Corti, impulsionando as células ciliadas contra a membrana tectória, o que converte a energia acústica em energia neural, transmitida ao cérebro via nervo coclear (OMS, 1995; NUDELMAN, 1997; RODRIGUES, 2011).

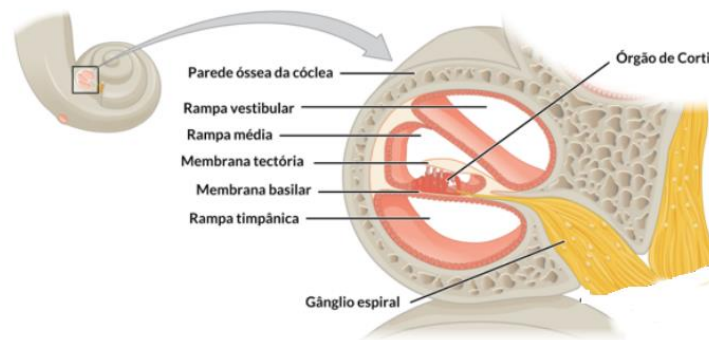


Figura 18 – Seção transversal da Cóclea.
Poton, 2019.

Em resumo, a audição se inicia pela transmissão das ondas sonoras pelo ar, que são captadas pela orelha externa, passam pela estrutura da orelha média e são convertidas em estímulos elétricos pelo órgão de Corti, que por sua vez os direciona ao cérebro, onde ganham significado.

Os menores limiares audíveis, ou seja, as pressões sonoras mínimas necessárias à percepção humana, se encontram entre as faixas de 16 Hz a 20.000 Hz. As exposições sistemáticas e prolongadas a ruído com alto nível de pressão sonora, na ordem de 60Pa, resultam na agressão das células ciliadas do órgão de Corti, reduzindo gradualmente a acuidade auditiva do indivíduo. Sabe-se também que o ruído é o agente poluente mais comum em atividades industriais; e que o ser humano, quando submetido regularmente a valores elevados de pressão sonora, pode apresentar efeitos adversos em seu bem-estar físico e mental, tendo a surdez como o possível efeito mais severo decorrente de tal exposição (NUDELMAN, 1997; JUNIOR, 1998; ISO 1999, 2013).

A perda auditiva ocupacional pode ocorrer de duas maneiras: pela exposição aguda ou pela exposição crônica. A exposição aguda, também conhecida como trauma acústico, ocorre por uma grande aplicação de pressão sonora em um único momento. Já a exposição crônica, difere da ocasião citada anteriormente pela necessidade de uma pressão sonora suficiente e repetitiva ao longo de um período de tempo maior.

Além das lesões auditivas, a exposição a elevados níveis de pressão sonora abre possibilidade para outros sintomas auditivos, como zumbidos, dificuldade no entendimento da fala e sensação de audição abafada; além de sintomas não-auditivos, como alteração do sono e transtornos neurológicos, digestivos, hormonais e comportamentais (NUDELMAN, 1997).

A Perda de Audição Induzida por Ruído (PAIR) é uma lesão auditiva neurossensorial que pode ser classificada como temporária ou permanente. As células ciliadas podem apresentar uma recuperação natural, que depende do nível de exposição sonora e do tempo em que o indivíduo esteja exposto (NUDELMAN, 1997; JUNIOR, 1998; BISTAFA, 2008; RODRIGUES, 2011).

A orelha humana não é igualmente sensível ao som em diferentes frequências. Para uma avaliação adequada de exposição ao ruído, o sistema de medição do som deve adequar essa diferença de sensibilidade para a faixa audível. Tal adequação é chamada ponderação em filtros de frequência (OMS, 1995).

Ao utilizar as curvas de ponderação, o nível geral de pressão sonora pode ser amplificado ou atenuado em função das diferentes frequências captadas. Os filtros de ponderação “A” e “C”, conforme ilustrados pela Figura 19, foram elaborados para se correlacionarem com a orelha humana para diferentes níveis de pressão sonora e são padronizados internacionalmente (OMS, 1995).

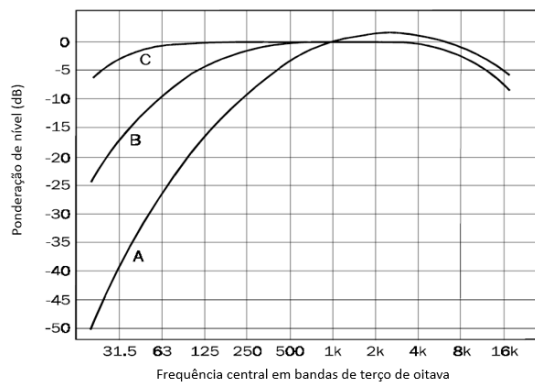


Figura 19 – Curvas características de ponderação.
Adaptado de OMS, 1995.

O filtro de ponderação mais adequado para a análise de exposição ocupacional ao ruído em atividades cotidianas é o filtro ponderador A, enquanto o filtro ponderador C é o mais recomendado para avaliações de sons de impacto, principalmente em ambientes de trabalho com ausência de energia sonora em baixas frequências (BISTAFA, 2008; OMS, 1995).

Quando ocorre a utilização de um filtro ponderador, o valor em decibéis é indicado na forma dB(x), em que x se refere ao filtro utilizado, A, B ou C. Se o valor obtido durante a medição foi indicado apenas por dB, subentende-se que nenhum filtro foi aplicado, ou seja, este valor corresponde à energia total do sinal sem ponderação (OMS, 1995).

3.2.1 Normativas para Avaliação de Exposição ao Ruído Ocupacional

O campo da acústica ocupacional possui diversas diretrizes para análises relativas à exposição. Os variados ambientes de trabalho, externos, internos e industriais, requerem avaliações específicas para se estimar a exposição sonora. Os limites impostos para cada condição de exposição tiveram como base conceitos como conforto, bem-estar e preservação da saúde no ambiente de trabalho. A exposição sem o controle ou sem a devida proteção pode configurar níveis de insalubridade ou risco (LIMA, 2015; NHO 01, 2001).

Cada país possui sua própria normativa quanto à exposição ocupacional a ruído, que podem apresentar diferentes metodologias e limites de tolerância. Por meio de um consenso realizado na Europa, por países não europeus, incluindo o Brasil, e pela comunidade científica, foi estabelecida a adoção dos critérios normativos propostos pela ISO 1999-1 – *Acoustics – estimation of noise induced hearing loss*, que serviram como base para as agências reguladoras de cada país desenvolverem suas respectivas legislações (ISO, 1999; BISTAFA, 2008). A relação de alguns países com seus respectivos limites de tolerância pode ser visualizada por meio da Tabela 7.

Segundo a ISO 1999, os limites de exposição a ruído ocupacional devem considerar os fatores éticos, sociais, econômicos e políticos de cada região, não passíveis de legislações internacionais (BISTAFA, 2008; LIMA, 2015).

Tabela 7 – Relação de diferentes países e níveis permissíveis de exposição.
Adaptado de Lima, 2015; Bistafa, 2008.

País	NEM ¹	q ²	Nível de ação (A) ³	Nível de ação (B) ⁴
Alemanha	85	3	90	85
Austrália	85	3	85	85
Brasil	85	3	90	85
Canadá	87	3	87	84
Chile	85	5	-	-
China	70-90	3	-	-
Espanha	85	3	90	80
EUA	90	5	90	85
França	85	3	90	85
Índia	90	3	-	-
Itália	85	3	90	85
Japão	90	3	85	85
Portugal	80-87	-	-	-
Suécia	85	3	90	80

¹NEM: Nível de exposição normalizado, para 08 horas diárias.

²q: taxa de incremento de dose de ruído.

³Nível de ação (A): para medidas de engenharia.

⁴Nível de ação (B): para monitoramento auditivo.

De acordo com Nudelmann (1997), o limite de exposição ocupacional diária recomendado internacionalmente é de 85 dB(A) para um critério de oito horas diárias. O fator de dobra “q” também pode apresentar variações, sendo considerado igual a 3 dB(A). O fator de dobra igual +3 ou -3, por exemplo, é a variação do nível de pressão sonora a cada vez que o tempo de exposição dobra ou reduz pela metade, respectivamente (JUNIOR, 1998; BISTAFA, 2008).

As principais normativas internacionais constatadas em trabalhos acadêmicos foram a ISO 9612 e a ISO 1999. No Brasil, as Normas Regulamentadoras que dizem respeito à exposição a ruído na saúde do trabalhador surgiram em 1978 por meio da portaria MTE nº 3.214. As normas NR-07 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional e NR-15 – Atividades e Operações Insalubres são responsáveis por estabelecer os critérios e limites para a análise da exposição ocupacional ao ruído.

3.2.1.1 ISO 9612 (2009) – Determinação da Exposição ao Ruído Ocupacional (*Acoustics – Determination of occupational noise exposure – Engineering method*).

Esta norma apresenta três diferentes metodologias para se estimar a exposição a ruído ocupacional: a Medida Baseada em Tarefa, a Medida Baseada no Trabalho e a Medida de Dia

Inteiro. Cada metodologia se difere por características específicas de medição, de acordo com a complexidade das atividades diárias do trabalhador.

Para a “Medida Baseada em Tarefa”, o trabalho realizado durante o dia será separado em tarefas, e para cada tarefa é efetuada a medição do nível de pressão sonora. Deve-se tomar cuidado para garantir que todas as contribuições relevantes de ruído sejam incluídas. A duração das tarefas pode ser obtida por meio de entrevistas com os funcionários e supervisor, por observações quanto aos períodos de exposição, ou ainda por meio de uma variável, conforme indicado pela Equação [21]:

$$\overline{T}_m = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{m,j}. \quad [21]$$

Em que J representa a quantidade de observações da tarefa desempenhada, $T_{m,j}$ a duração das tarefas e \overline{T}_m [min] representa a média aritmética das tarefas.

Deste modo, é possível estimar a duração de exposição total diária Te por meio da Equação [22]:

$$Te = \sum_{m=1}^M \overline{T}_m. \quad [22]$$

Em que \overline{T}_m é a média aritmética obtida para as tarefas desempenhadas, m é o número da tarefa e M é o número total de tarefas.

Para a obtenção do valor representativo de exposição sonora, deve se obter o valor ponderado pela curva “A” equivalente de cada tarefa m para I quantidade de tarefas, por meio da Equação [23]:

$$L_{p,A,eqT,m} = 10 \log \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,mi}} \right). \quad [23]$$

Em que $L_{p,A,eqT,mi}$ é o valor de pressão sonora ponderado em “A” para as durações T, m das tarefas, i é o número de amostras da tarefa m e I é o número total de amostras da tarefa m .

A exposição total diária $L_{EX,8h}$ [dB(A)] permite o cálculo do nível diário de exposição a ruído a partir do tempo de duração de cada tarefa, como obtido na Equação [21]. A exposição total diária pode ser obtida conforme a Equação [24]:

$$L_{EX,8h} = 10 \log \sum_{m=1}^M \frac{\overline{T}_m}{T_0} 10^{0,1xL_{p,A,eqT,m}}. \quad [24]$$

Em que $L_{p,A,eqT,m}$ é a pressão sonora ponderada em “A” para as tarefas m , como já obtido na Equação [23]. A variável T_0 é a duração de referência igual a oito horas, m é o número da tarefa e M é o número total de tarefas m utilizadas como contribuição para a exposição diária.

Para a “Medida Baseada no Trabalho”, é necessária a utilização de grupos homogêneos de exposição. Para Nudelmann (1987), grupos homogêneos de exposição são indivíduos que podem ser monitorados em sua totalidade. Os resultados obtidos para um indivíduo podem representar informações confiáveis para os demais indivíduos do mesmo grupo. O princípio desta estratégia de medição é utilizar amostras aleatórias de exposição ao ruído durante a execução dos trabalhos identificados.

Após analisar e identificar o trabalho desenvolvido pelos trabalhadores, deve-se efetuar a separação dos grupos de exposição, conforme a Tabela 8 e os seguintes procedimentos: determinar a duração mínima cumulativa para o número de trabalhadores n_G ; selecionar ao menos cinco amostras que atendam às especificações exigidas; e recolher aleatoriamente as amostras de cada grupo.

Tabela 8 – Especificações mínimas para o tempo de exposição de acordo com o número de trabalhadores do grupo homogêneo. Adaptado de ISO 9612 (2009).

Número de trabalhadores para o grupo de exposição homogênea n_G	Duração mínima cumulativa a ser distribuída para os grupos de exposição
$n_G \leq 5$	5h
$5 < n_G \leq 15$	$5h + (n_G - 5) \times 0,5h$
$15 < n_G \leq 40$	$10h + (n_G - 15) \times 0,25h$
$n_G > 40$	17h ou dividir o grupo

Após estabelecido o tempo mínimo de duração da exposição, de acordo com a quantidade de trabalhadores do grupo homogêneo, é possível calcular o nível de pressão sonora $L_{p,A,eqTe}$ [dB(A)] para o tempo de duração da jornada de trabalho, conforme indicado pela Equação [25]:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^I 10^{0,1xL_{p,A,eqT,n}} \right). \quad [25]$$

Em que $L_{p,A,eqT,n}$ é o nível de pressão sonora para as n amostras, n é o número de grupos homogêneos e N é o número total de trabalhadores.

Após calculado o $L_{p,A,eqTe}$, é possível obter o nível de exposição diário ao grupo homogêneo projetando a uma diária de oito horas, conforme a Equação [26]:

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqTe} + 10 \left(\frac{T_e}{T_0} \right). \quad [26]$$

Em que $L_{EX,8h}$ representa a exposição total diária ponderada em “A”, $L_{p,A,eqTe}$ equivale a pressão sonora efetiva ao tempo de exposição, T_e é a duração efetiva da exposição e T_0 é a duração de referência igual a oito horas.

A terceira estratégia, a “Medida de Dia Inteiro”, deve utilizar todas as contribuições sonoras durante a jornada diária de trabalho. Para este tipo de medição, de longas durações, é aconselhável, pela norma, a utilização de um aparelho medidor de exposição de uso pessoal. Este tipo de estratégia deve ser utilizado em algum dia representativo da exposição do trabalhador. Caso a medição integral seja impossibilitada, a coleta de dados deve ser realizada por um período significativo de exposição, de acordo com o critério do avaliador.

As medições para qualquer um dos três casos pode ocorrer por um medidor de nível de pressão sonora de uso pessoal ou pelo uso de um medidor integrador de pressão sonora. Quando houver a utilização do integrador de uso pessoal, a norma especifica que o microfone deve ser equipado na parte superior do ombro do trabalhador, a 10 cm da orelha exposta, no máximo. Quando houver a utilização de um medidor integrador de pressão sonora, o microfone deve ser posicionado próximo à cabeça do trabalhador, a uma distância máxima de 10 cm do canal auditivo, de preferência, de modo que o microfone fique alinhado com a linha de visão do trabalhador. Ambos os equipamentos devem ser iniciados no começo de cada tarefa em que há exposição ocupacional ao ruído e pausados ao fim da exposição.

3.2.1.2 ISO 1999 (2013) – Estimativa de Perda Auditiva Induzida por Ruído (*Acoustics – estimation of noise induced hearing loss*).

A normativa estabelece conceitos estatísticos para o cálculo da mudança permanente do limiar auditivo induzido pelo ruído em populações adultas. Também normaliza técnicas de predição a exposição a ruído, o que fornece a acessibilidade ao uso de tal normativa por diferentes países. Todos os procedimentos de dados oferecidos por esta norma são baseados em simplificações experimentais onde exposições sonoras não excedem doze horas de duração.

Para a exposição ocupacional diária $L_{EX,8h}$ [dB(A)], o nível ponderado em “A” considerando a normalização para oito horas de trabalho, é obtida pela Equação [27]:

$$L_{EX,8h} = L_{pAeq,Te} + 10 \log \left(\frac{Te}{T_0} \right). \quad [27]$$

Em que $L_{pAeq,Te}$ é o nível de exposição ocupacional ponderado em “A”, Te é o tempo de exposição efetiva do trabalhador e T_0 é o período de referência igual a 8 h.

Além da estimativa diária, a norma estabelece, de acordo com a Equação [28], a média de exposição ocupacional $(\overline{L_{EX,8h}})$ [dB(A)] para n dias de trabalho.

$$\overline{L_{EX,8h}} = 10 \log \left[\frac{1}{c} \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{EX,8h})i} \right]. \quad [28]$$

Em que $(L_{EX,8h})i$ representa o valor de exposição ocupacional para cada dia “i” de exposição, n é o número de dias de medição, e c representa a normalização semanal, que é equivalente a 5. De acordo com a norma, a seleção dos níveis máximos de exposição a ruído ocupacional deve depender de cada país, levando em consideração características éticas, sociais, econômicas e políticas.

3.2.1.3 NR-07 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional

O Programa tem por objetivo promover e preservar a saúde no ambiente de trabalho. O Anexo I da referida norma estabelece que todos os trabalhadores que exercerem funções em ambientes cujos níveis de pressão sonora ultrapassem os limites estabelecidos pelos Anexos I – Limite de Tolerância para Ruído Contínuo ou Intermitente e II – Limites de Tolerância para Ruído de Impacto da NR-15 necessitarão ser submetidos a exames audiométricos periódicos, independentemente do uso de protetores auditivos. Os exames deverão ser realizados, no mínimo, no momento de admissão, seis meses após a admissão, anualmente e, então, no momento da demissão.

3.2.1.4 NR-15 – Atividades e Operações Insalubres

Esta norma estabelece limites de salubridade para atividades ou operações ocupacionais, isto é, atividades ou operações que possam comprometer a saúde do trabalhador. Em seu Anexo I, estabelece o limite de exposição a ruído ocupacional pela relação entre o nível de ruído em dB(A) e o tempo máximo de exposição permitido relativo àquele nível. Se durante a jornada de trabalho ocorrerem dois ou mais períodos de exposição a diferentes níveis, seus efeitos devem

ser combinados, como mostra a Equação [29], e a soma de suas frações não deve exceder ao valor de uma unidade.

$$\overline{L_{EX,8h}} = 10 \log \left[\frac{1}{c} \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{EX,sh})i} \right]. \quad [29]$$

Na Equação citada acima, Cn indica o tempo em que um trabalhador fica exposto a um nível de ruído e Tn representa o tempo máximo de exposição diária permitida a este referido nível, conforme indicado pela Tabela 9.

**Tabela 9 – Limites de tolerância para exposição a ruído contínuo.
Adaptado de NR-15 – Atividades e Operações Insalubres.**

Nível de ruído em dB(A)	Tempo máximo de exposição permitido
85	08 h
86	07 h
87	06 h
88	05 h
89	04 h 30 min
90	04 h
91	03 h 30 min
92	3 h
93	02 h 40 min
94	02 h 15 min
95	02 h
96	01 h 45 min
98	01 h 15 min
100	01 h
105	30 min
110	15 min
115	07 min

Atividades ou operações que exponham o trabalhador a níveis de ruído superiores a 115 dB(A) sem a proteção adequada são estritamente proibidas, configurando risco grave e iminente.

3.2.2 Metodologia Aplicada ao Ruído Ocupacional

A NR-15 apresenta a avaliação ocupacional por meio da comparação de níveis de ruído com os limites de tolerância em função do tempo de exposição. Nesta normativa não há procedimentos ou especificações técnicas de como deve ser mensurada a exposição ocupacional a ruído.

A normativa responsável por estabelecer critérios e procedimentos para análise a exposição ocupacional ao ruído é a NHO 01 – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído. A mesma foi elaborada pelos técnicos da Coordenação de Higiene do Trabalho da FUNDACENTRO e traz em seu escopo métodos de avaliação, definição de critérios e parâmetros, limites de tolerância e indicação de medidas de controle para o ruído. Seus limites de exposição ao ruído ocupacional foram baseados na NR-15, e são utilizados como referência para perícias, auditorias ou relatórios junto ao Instituto Nacional do Seguro Social (INSS).

A avaliação quanto ao nível de exposição deverá ser feita de modo a caracterizar todos os trabalhadores considerados em estudo. A avaliação deve, ainda, cobrir todas as condições operacionais e ambientais habituais a que o trabalhador esteja submetido. Caso seja identificado um grupo de trabalhadores que apresentem características similares de exposição, definido por norma como grupo homogêneo, não será necessário realizar a avaliação para todos os trabalhadores do mesmo grupo. As avaliações podem ser realizadas para um ou mais trabalhadores que correspondam a exposição “típica” do grupo considerado.

A norma se aplica a quaisquer situações de trabalho, sendo utilizada para avaliações a ruídos contínuos ou de impacto. Entretanto, não avalia as condições de conforto acústico. (NHO 01, 2001)

De acordo com a norma, duas metodologias podem ser aplicadas para se estimar a exposição ao ruído. A primeira se refere a quando o medidor é portado pelo próprio trabalhador, e a segunda metodologia se faz necessária quando o medidor é portado pelo avaliador. Neste último caso, o medidor pode ser classificado como integrador ou de leitura instantânea, conforme Figura 20.

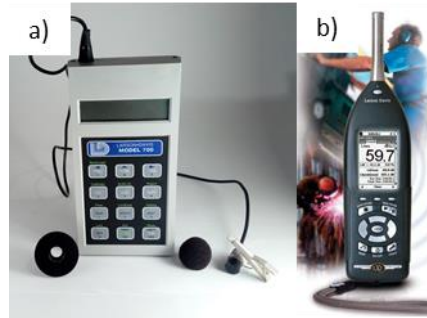


Figura 20 – Medidores de exposição sonora: (a) medidor integrador de uso pessoal. (b) medidor integrador portado pelo avaliador.
Larson Davis ®

O medidor integrador de uso pessoal é fixado ao trabalhador durante o período de medição e fornece a dose ou nível médio de exposição por meio de integração, enquanto o medidor portado pelo avaliador não tem interação com o trabalhador e pode ser usado para se obter a dose de ruído ou nível médio de exposição ocupacional. As medições efetuadas por um medidor portado pelo avaliador devem ser realizadas dentro da zona auditiva, que corresponde a um raio de 15 cm a partir do canal auditivo do indivíduo, de forma a fornecer dados representativos da exposição ocupacional do trabalhador aos exercícios de suas funções (NHO 01, 2001).

Além da dose ou nível médio, a norma ainda estabelece uma metodologia avaliativa para o ruído de impacto. Ruído de impacto, de acordo com a NHO 01, é aquele que apresenta energia acústica de duração inferior a um segundo, a intervalos superiores a um segundo. A medição do ruído de impacto deve ser realizada com o auxílio de um medidor de nível de pressão sonora e o valor obtido não pode ultrapassar 140 dB em forma de circuito Linear.

Quanto à estimativa para ruído contínuo, com integrador digital portado pelo avaliador, o microfone do medidor deverá se encontrar dentro da zona auditiva do trabalhador por todo o período que seja desenvolvido o trabalho ou função.

Ao utilizar o medidor de leitura instantânea para ruído contínuo ou intermitente, deve-se ajustar o circuito para ponderação “A”, circuito de resposta lenta “*slow*” e cobrir faixa mínima de medição de 80 a 115 dB(A). O tempo de medição deverá ser registrado caso não cubra a jornada integral de trabalho e, com o medidor dentro da zona auditiva do trabalhador, deverão ser feitas “*n*” leituras sequenciais com intervalos “*At*” de no máximo 15 segundos. Valores de exposição inferiores a 80 dB(A) não deverão ser considerados para a avaliação. Cada valor obtido no instante da medição deverá ser arredondado para o valor mais próximo de um intervalo de 0,5 dB, não tomando médias subjetivas de cada leitura.

As diferentes componentes de exposição ocupacionais, que representam os diferentes períodos de medições durante a jornada de trabalho, devem ser utilizadas para obter o Nível Médio de Exposição, conforme indicado pela Equação [30]:

$$NM = 10 \log \left[\frac{1}{n} (n_1 x 10^{0,1NPS_1} + n_2 x 10^{0,1NPS_2} + \dots + n_i x 10^{0,1NPS_i} + \dots + n_n x 10^{0,1NPS_n}) \right]. \quad [30]$$

Em que NM é o nível médio representativo da exposição do trabalhador, n_i são os grupos de leituras obtidos, n é o número total de leituras e NPS_i é o i ésimo nível médio de pressão sonora assumido em dB(A) superiores a 80 dB(A).

Quando o nível médio obtido for representativo de toda a jornada de trabalho, este pode, então, ser considerado como Nível de Exposição (NE). Para realizar as comparações com os limites estipulados por norma, deve-se obter o Nível de Exposição Normalizado (NEN). Pelo uso da Equação [31], podemos obter a normalização do Nível de Exposição (NE) para uma jornada padrão de oito horas.

$$NEN = NE + 10 \log \frac{T_e}{480}. \quad [31]$$

Em que NE representa o nível médio de exposição para a diária de trabalho e T_e a duração em minutos da jornada de trabalho. O critério limite de exposição ocupacional diária para o NEN é de 85 dB(A) e o valor teto de exposição para ruído contínuo corresponde a 115 dB(A).

4 METODOLOGIA

Nesta seção são apresentados os procedimentos de coleta e análise dos dados necessários a fim de se atingir os objetivos propostos no item 1.3. Os equipamentos utilizados e procedimentos realizados são descritos em duas etapas, conforme ilustrado pela Figura 21.

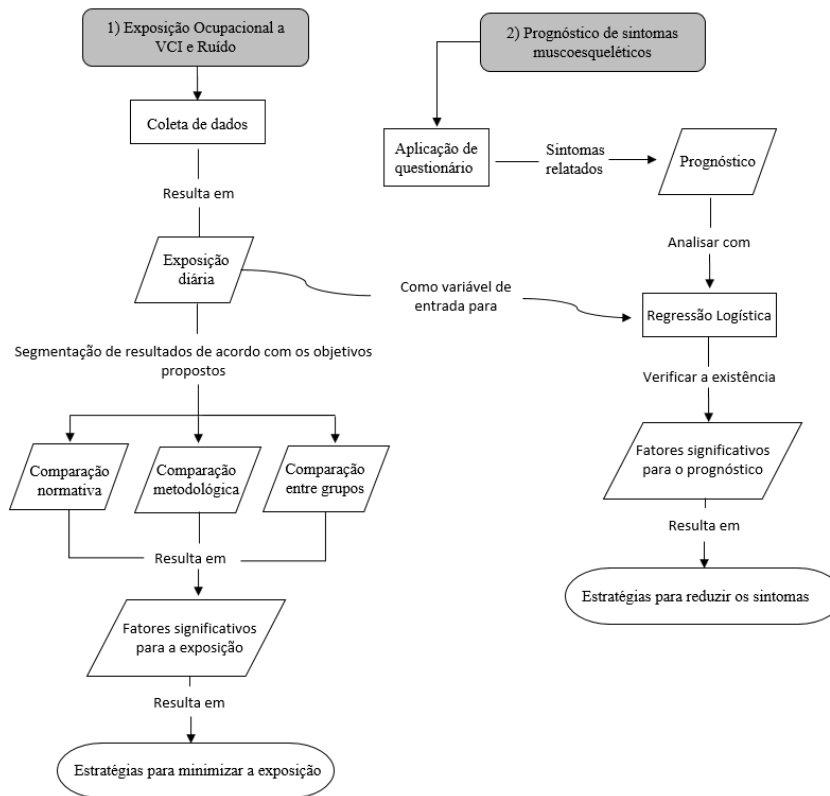


Figura 21 – Mapa estrutural da metodologia.
Adaptado de Zanatta, 2017.

A primeira etapa metodológica é a medição da exposição a VCI e ao ruído ocupacional, que se trata da estimativa e do processamento de dados e análises a respeito da exposição ocupacional ao ruído e vibrações de corpo inteiro. A segunda etapa é o prognóstico de sintomas musculoesqueléticos, que possui o intuito de identificar contribuições significativas entre características antropométricas ou sociais a dores ou desconfortos musculoesqueléticos relatados pelos motoristas no questionário de anamnese aplicado. A contribuição foi avaliada por meio de uma regressão logística binária baseada no estudo proposto por Zanatta (2017).

4.1 ANÁLISES REFERENTES À EXPOSIÇÃO A VCI E AO RUÍDO OCUPACIONAL

4.1.1 Aquisição de Dados

As medições quanto à exposição a VCI e ruído ocupacional foram obtidas de forma simultânea in loco para cada motorista. Após responder ao questionário de caracterização, cada motorista foi acompanhado durante toda a diária de trabalho. As medições ocorreram dentro da cabine do caminhão, local proposto pelo estudo para verificar os níveis de exposição a ruído e VCI. O processo de adaptação dos equipamentos à cabine do caminhão respeitou os procedimentos instruídos pelas normativas NHO 01 e NHO 09, para ruído e VCI, respectivamente.

Apesar de a obtenção de dados haver ocorrido de forma simultânea, as medições a ruído e vibração utilizaram diferentes metodologias. Para a estimativa de exposição a VCI, a diária de trabalho do motorista foi dividida em componentes de exposição, e cada componente representou um trajeto desenvolvido, seja de entrega de concreto ou de retorno à usina.

A exposição pode ser obtida por meio de uma única componente integral de exposição ou por meio de várias componentes de exposição, posto que, neste caso, o total diário é obtido pelo agrupamento das variadas componentes. Pesquisadores como Bibhut e Mansfield (2015), Nunes e Silva (2015), Lynas e Burgess-Limerick (2019) e Santos e Nunes (2019), apresentam a importância da caracterização das componentes de exposição. Os autores indicam que as componentes devem ser bem detalhadas e a escolha entre componente integral, variadas componentes ou repetições de componentes depende da análise crítica do avaliador. Devido à variedade de trajetos realizados diariamente e aos tempos de pausa entre um trajeto e outro, a metodologia de exposição utilizada se deu pelo uso de variadas componentes. A quantidade de componentes para cada caminhão não era fixa, mas proporcional ao número de entregas realizadas.

Conforme indicado pela Figura 22, a aceleração foi medida na interface motorista/assento por um acelerômetro triaxial de modelo *seat pad*, o qual foi fixado ao assento com fita adesiva. O *seat pad* estava conectado a um integrador digital, modelo da fabricante Larson Davis®, o *Human Vibration Meter (HVM) – 100*, responsável pela aquisição dos dados obtidos.

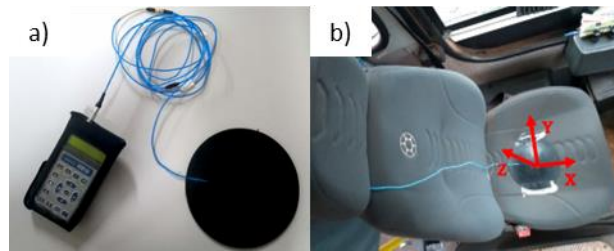


Figura 22 – Adaptação do HVM 100: (a) modelo utilizado. (b) HVM fixado em assento. Santos, 2019.

Ao ligar o aparelho, foi realizada a configuração para modo de operação de corpo inteiro, com tempo de amostragem *slow*, curvas de ponderação W_d , W_d e W_k , conforme indicado pela NHO 09 e pelo manual do HVM – 100. O fundo de escala (*Range*), foi obtido de forma empírica e fixado em 20 dB. O tempo de armazenamento foi padronizado em 02 min; ou seja, para cada dois minutos de medição o aparelho armazenaria um relatório de registro.

Para a avaliação de exposição ao ruído ocupacional, foi utilizado um medidor integrador de pressão sonora, classe 1, modelo SC101, com faixa de frequência de 20 a 20 kHz, da fabricante CESVA®. A configuração do SC101 ocorreu de forma que realizasse o registro dos valores de exposição instantânea baseada em integração. O aparelho foi utilizado com resposta de integração *slow* e os valores de exposição foram registrados manualmente com um intervalo de tempo “At” igual a 15 segundos devido ao fato de o aparelho não possuir histórico de registros. Conforme instruído pela normativa NHO 01, o microfone deveria estar dentro da zona auditiva do trabalhador, a uma distância máxima de 15 cm do canal auditivo, como ilustrado pela Figura 23.

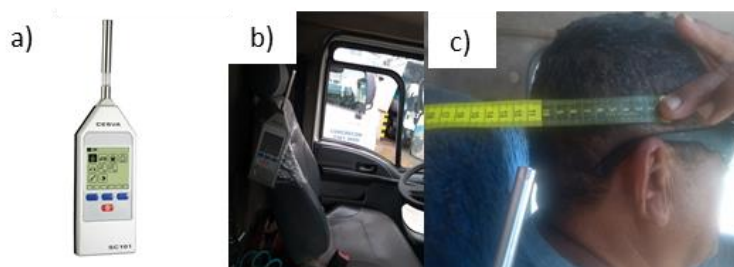


Figura 23 – Adaptação de medidor de pressão sonora: (a) modelo utilizado. (b) adaptação do modelo à poltrona (c) microfone em faixa auditiva.

Como ilustra a Figura 24, os equipamentos foram fixados ao assento e poltrona do motorista, que realizou suas operações diárias sem qualquer interferência do autor ou dos aparelhos utilizados.



Figura 24 – Aquisição de exposição a VCI e ao ruído: (a) aparelhos fixados no assento e poltrona de encosto. (b) motorista em sua diária normal de trabalho.

Para os trajetos de ida, a aquisição de dados teve início ao sair da central dosadora de concreto e teve como ponto final a chegada à obra civil, após manobrado e estacionado o caminhão. Para os trajetos de retorno, a aquisição de dados teve como início a saída da obra civil e ponto final a entrada da central dosadora de concreto. A logística de entrega de concreto ocorreu de acordo com a programação realizada pela central dosadora e são alteradas a cada dia de produção. Ao retornar a central, o motorista aguardava instruções referentes à próxima entrega, que poderia ocorrer de forma imediata ou não, dependendo da produção diária de concreto. Para este estudo, apenas as exposições a ruído e VCI durante as operações com o caminhão (transporte de carga ou retorno à usina) foram consideradas.

Como uma medida de segurança adotada pela empresa, todos os caminhões possuíam limite de velocidade de 60 km/h, quando carregados e de 70 km/h quando vazios. A velocidade de mistura do globo do caminhão informada pela empresa foi de 02 a 04 rpm, para o transporte de carga, de modo a evitar que o concreto transportado se segregasse, e de 02 rpm para o retorno à usina.

4.1.2 Análise de Dados

O processamento dos dados para a exposição a VCI foi realizado pelo software de interface Blaze®. O software permite extrair do integrador digital e visualizar todos os dados de medição armazenados, sendo ainda possível realizar a exportação dos dados como arquivos .txt ou .CSV. Para este estudo, optou-se pela exportação em arquivos .CSV, que foram organizados com o auxílio do editor de planilhas Excel®.

Foram gerados arquivos proporcionais ao tempo de uso do aparelho. Para cada dois minutos de medição era salvo um registro de histórico de exposição. Antes de ocorrer a exportação de dados, cada componente, seja a entrega de carga ou retorno à usina, teve seus números de registros mesclados, a fim de facilitar a análise. Após exportar e organizar o arquivo mesclado de cada componente de exposição, todos os procedimentos de cálculo exigidos pela NHO 09 para a obtenção dos parâmetros *aren* e *VDVR* foram efetuados com o auxílio do software Matlab®.

Apesar de a legislação brasileira orientar a utilização metodológica da NHO 09 para obtenção de níveis de exposição a VCI, foi realizada uma avaliação paralela utilizando também a ISO 2631. A escolha da ISO se deu por se tratar da norma internacional mais frequente verificada na bibliografia utilizada para este trabalho, e a comparação entre as duas normativas teve como finalidade expor suas divergências metodológicas.

Para a análise sobre exposição ao ruído, após o registro de todos os níveis de pressão sonora, os dados foram digitalizados e organizados de forma crescente com o auxílio do editor de planilhas Excel®. Assim como determinado no item 6.4.3 da Norma de Higiene Ocupacional (NHO 01), leituras acima de 80 dB devem ser arredondadas para o valor mais próximo, dentro de um intervalo de 0,5 dB, como pode ser visualizado no exemplo proposto pela norma, representado na Figura 25. Os procedimentos de cálculo exigidos pela NHO 01 foram também efetuados com o auxílio do software Matlab®.

i	NPS _i	n _i
1	< 80,0	188
2	83,5	3
3	84,0	7
4	85,0	21
5	85,5	38
6	86,5	42
7	88,0	53
8	88,5	47
9	89,0	52
10	90,0	75
11	90,5	65
12	91,0	53
13	92,0	27
14	95,0	17
15	98,0	12
16	99,5	5
Total de leituras = n		705

Nota: Equação 30 repetida por conveniência:

$$NM = 10 \log \left[\frac{1}{n} (n_1 x 10^{0,1NPS_1} + n_2 x 10^{0,1NPS_2} + \dots + n_n x 10^{0,1NPS_n}) \right]$$

Figura 25 – Distribuição de leituras de pressão sonora.
NHO 01, 2001.

De acordo com a quantidade de medições “n”, o número de leituras obtidas para um mesmo nível de pressão sonora “n_i” e o “NPS_i”, que representam os valores de exposição acima de 80 dB(A), foi possível obter o Nível Médio (NM) representativo da exposição do trabalhador ao aplicar tais parâmetros na Equação [30], localizada no item 3.3.2 e repetida por conveniência na Figura 25. Quando o período de medição corresponder a um tempo significativo de exposição diária, o Nível Médio (NM) obtido é correspondente ao Nível de Exposição (NE) (NHO 01).

Além da caracterização da amostra de estudo e da obtenção dos valores de exposição diários para ruído e vibração, os dados foram segmentados visando comparar e caracterizar a exposição em diferentes condições de trabalho. Para a exposição a VCI, fatores como IMC dos motoristas, volume de carga transportada e a escolha metodológica sobre componentes de exposição foram levados em consideração a fim de se analisar uma possível contribuição com a exposição. Quanto ao ruído, houve avaliação dos horários de tráfego (matutino e vespertino) e os volumes de carga (carregado e vazio) foram analisados. Por fim, foram realizadas simulações de componentes de exposição, projetando-as a uma diária de trabalho, com o intuito de verificar a importância do acompanhamento integral do trabalhador em estudos relacionados

a VCI. As análises estatísticas dos dados foram realizadas com o auxílio do software *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) versão 25 para *Windows*. Todos os testes realizados foram denotados para um nível de significância de 5%, isto é, $p < 0,05$.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA DE ESTUDO E RELAÇÃO DE VARIÁVEIS

4.2.1 Coleta de Dados e Critérios de Inclusão

A pesquisa teve o intuito de verificar o nível de exposição à vibração e ao ruído em motoristas de caminhão betoneira de uma empresa em duas centrais dosadoras de concreto, então localizadas em diferentes regiões de Brasília – DF. O estudo foi desenvolvido com a população de motoristas disponível nas duas filiais distintas da empresa, uma no Setor de Transportes Regional de Cargas (STRC) e a outra em Ceilândia. A contribuição dos trabalhadores para a pesquisa ocorreu de forma voluntária, visto que todos possuíam a opção de não participar do desenvolvimento do estudo. Dos trinta e dois motoristas disponíveis, quatro deles optaram por não participar da pesquisa sem apresentar qualquer justificativa.

Posteriormente à explicação aos trabalhadores a respeito dos objetivos da pesquisa, foi reservado um período de cinco a dez minutos para o preenchimento completo, por cada trabalhador, de um questionário individual de fácil entendimento, contendo perguntas que abrangiam características físicas, sociais, histórico de saúde ocupacional e prevalência de sintomas musculoesqueléticos, a fim de caracterizar a amostra dos motoristas em estudo, conforme disponibilizado no Anexo I. O questionário apresentado foi baseado nas ferramentas de coleta de dados epidemiológicos *WBV questionnaire: Southampton low back pain drivers study – VIBRISKS*, no Questionário Nórdico dos Sintomas Musculoesqueléticos (Kuorinka et al. Apud Iida, 2005) e no diagrama de áreas dolorosas, proposto por Colett e Manenica (1980), que são utilizados na área de saúde ocupacional como citado por Iida (2005) e foram aplicados, por exemplo, nos estudos de Bovenzi (2006) e Zanatta (2017).

O procedimento de obtenção dos dados antropométricos foi realizado pelo próprio autor e ocorreu de forma individual para cada motorista in situ, conforme ilustrado pela Figura 26.



Figura 26 – Obtenção de dados antropométricos: (a) massa. (b) altura.

Os valores de massa foram obtidos por meio de uma balança digital, Figura 26 – (a), com carga máxima de 180 kg e a altura de cada motorista foi adquirida por uma fita antropométrica de 02 metros de comprimento fixada na parede, conforme Figura 26 – (b).

4.2.2 Riscos e Benefícios

Dada a natureza da coleta de dados e do desenvolvimento do estudo, os motoristas que aceitaram participar da pesquisa poderiam sentir-se ameaçados ou constrangidos. O pesquisador esteve atento aos sinais verbais e não verbais de desconforto e assegurou a confidencialidade e a privacidade dos dados obtidos por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), apresentado no Apêndice I, e o Termo de Autorização de Uso de Imagem e/ou Som, apresentado no Apêndice II. Ambos os termos foram apresentados e explicados aos participantes, antes do início do estudo, e tiveram como objetivo garantir a não utilização das informações em prejuízo das pessoas. Vale ressaltar a existência dos riscos diários e do risco à saúde pela exposição a vibrações de corpo inteiro inerentes à profissão de motorista.

Como benefícios da participação na pesquisa, podem ser citadas a análise de como a saúde do trabalhador poderia estar sendo afetada por suas condições de trabalho e a promoção do conhecimento sobre exposição a VCI para esta classe de motoristas. Esses benefícios se estendem também à instituição coparticipante, que, de posse desses resultados, poderia melhorar a qualidade de vida de seus funcionários.

4.2.3 Modelo de Predição

A análise de ocorrência de sintomas musculoesqueléticos foi realizada por um modelo logístico, com uma variável dependente dicotômica $D = \text{Sintoma}$. A resposta obtida seria do tipo binária (0 e 1), em que (0) significa que o motorista não era acometido por sintomas musculoesqueléticos e em (1), era acometido.

Foram testadas quatro variáveis independentes: $X_1 = \text{Postura}$, que é categórica e representa a resposta do motorista quando questionado sobre qual postura corporal adota ao dirigir, postura ereta ou postura curvada; $X_2 = \text{Índice de Massa Corporal (IMC)}$, que é contínua e obtida pelos valores da estatura expressa em metros e massa expressa em quilos através da equação $IMC = \text{massa}/\text{estatura}^2$, $X_3 = \text{nível de exposição a VCI (aren)}$, obtido pela metodologia aplicada a exposição a VCI pela norma nacional vigente NHO 09 e $X_4 = \text{Idade do motorista}$, obtida pelo questionário de anamnese aplicado.

De acordo com Kleinbaum and Kleim (2010), a probabilidade pode ser obtida pela Equação [32] de declaração condicional:

$$P(D = 1 | X_1, X_2, \dots, X_k) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \sum \beta_i X_i)}} \quad [32]$$

Por conveniência, a Equação apresentada acima pode ser representada por $P(X)$, em que X representa a notação do conjunto de variáveis X_1 até X_k , conforme Equação [33]:

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \sum \beta_i X_i)}} \quad [33]$$

Os termos α e β representam parâmetros desconhecidos baseados nos dados obtidos em X_s e D (sintoma) para o grupo de motoristas participantes da pesquisa. Ao se conhecer os parâmetros α e β , e de posse dos valores de X_s , foi possível obter a probabilidade de que um motorista desenvolvesse a doença em intervalo de tempo definido.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentadas as contribuições da pesquisa para a caracterização da amostra de estudo utilizada, além da associação das características antropométricas e sociais relacionadas às dores e aos desconfortos relatados pelos motoristas.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA DE ESTUDO

A participação dos motoristas ao estudo ocorreu de forma voluntária. Dentre os trinta e dois motoristas entrevistados, vinte e oito (87,5%) consentiram em participar da pesquisa proposta, sendo dezoito motoristas (64,3%) provenientes da Usina 1, localizada na região do STRC, e dez motoristas (35,7%) provenientes da Usina 2, localizada na região de Ceilândia. A diferença na quantidade de motoristas entre as duas usinas se deve ao volume médio de concreto nelas produzido diariamente, posto que a produção da Usina 1 era cerca de 370% superior àquela da Usina 2.

A partir do questionário de anamnese proposto aos participantes, foi possível obter informações pessoais e sociais dos motoristas para uma melhor caracterização da amostra de estudo. Os participantes da pesquisa apresentam idade média de 39,1 anos ($\pm 8,7$) e Índice de Massa Corporal (IMC) médio de 27,3 kg/m² ($\pm 4,3$). A execução de atividade física regular foi relatada por quatorze (50%) dos entrevistados, o que inclui caminhadas, musculação e prática de esportes. O consumo de álcool em ao menos um dia da semana foi relatado também por quatorze (50%) dos motoristas, e apenas um (3,6%) dos motoristas se considerava fumante.

Segundo as características relacionadas ao trabalho observadas, dois motoristas (7,1%) possuíam experiência comprovada como motoristas profissionais em um período de um a cinco anos, oito (28,6%) deles de cinco a dez anos, dez motoristas (35,7%) de dez a quinze anos e oito (28,6%) entre os mesmos possuíam mais de quinze anos de experiência na área.

Ao serem questionados sobre sua condição de trabalho, dez (35,7%) motoristas julgaram a manutenção do caminhão e dos equipamentos como “boa”, dezessete (60,7%) como “regular” e um (3,6%) como “ruim”. Já a respeito da satisfação com o atual emprego, quatro motoristas (14,3%) responderam estar satisfeitos com a atual condição de trabalho, vinte e três (82,1%) disseram estar muito satisfeitos e um (3,6%) disse estar insatisfeito com a atual condição de trabalho.

Ainda sob a percepção dos motoristas, vinte (71,4%) disseram não exercer esforço físico com os membros superiores dentro do caminhão, enquanto oito motoristas (28,6%) afirmaram

exercer esforço físico. Em ambiente de trabalho, porém, fora da cabine do caminhão, vinte (71,4%) motoristas afirmaram exercer esforço físico em outras atividades, como a limpeza do caminhão, e oito (28,6%) disseram não exercer esse esforço físico.

Sobre a qualidade do pavimento urbano, em Brasília – DF, dois (7,1%) dos motoristas julgaram-no como “bom”, vinte (71,4%) o julgaram como “regular” e seis (21,4%) o classificaram como “ruim”. O resumo das respostas obtidas, acima relacionadas, pode ser visualizado pela Figura 27.

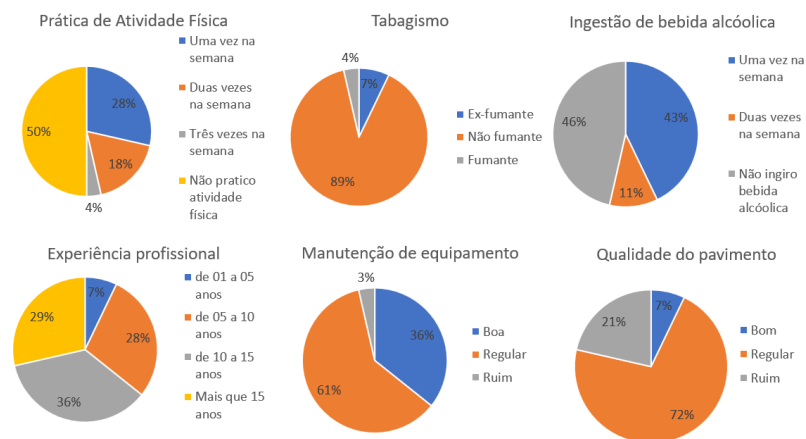


Figura 27 – Características da amostra de estudo.

Como resultado dos questionários musculoesqueléticos, quinze motoristas (53,5%) apresentaram dores ou desconfortos na semana anterior à aplicação dos questionários, dez motoristas (35,7%) relataram dor ou desconforto nos doze meses anteriores e um (3,6%) motorista relatou já haver sido afastado de suas funções devido a dores na região dorsal ao menos uma vez.

Ao questionar os motoristas a respeito de possíveis desconfortos oriundos da exposição ao ruído e/ou à vibração, vinte e dois motoristas (78,6%) disseram não sentir incômodo quanto ao ruído emitido pelo caminhão e/ou pelo tráfego urbano e vinte (71,4%) motoristas afirmaram sentir maior exposição à vibração com o caminhão carregado.

Durante todo o estudo proposto, foram realizadas oitenta e cinco entregas de concreto em diferentes regiões do Distrito Federal, efetuadas pelos vinte e oito caminhões betoneira. A média de entregas informada pela empresa coparticipante para a Usina 1 foi de três a quatro viagens para cada caminhão durante um dia de trabalho, enquanto na Usina 2, era de uma a duas viagens para cada caminhão. No período de realização do estudo, a empresa informou que a produção de concreto estava em condições “normais”. Ou seja, não houve registro atípico do

volume produzido que pudesse influenciar na quantidade média de entregas realizadas pelos motoristas. A disposição de entregas para as duas Usinas 1 e 2 podem ser visualizadas na Figura 28.

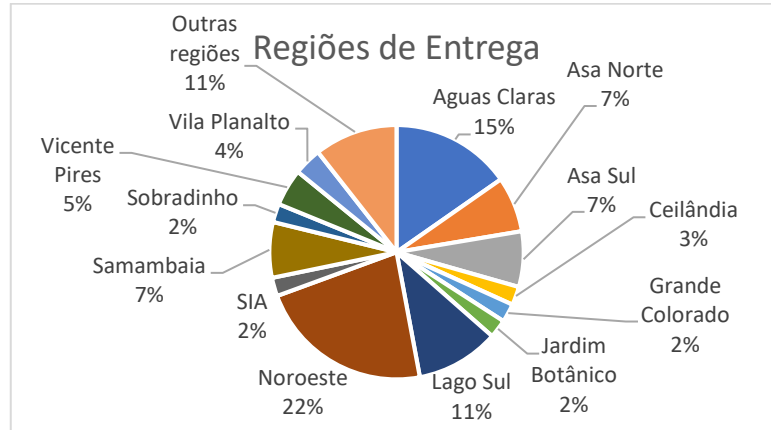


Figura 28 – Caracterização das regiões de entrega de concreto.

A categoria informada como “Outras regiões” compreende as regiões de Brazlândia, Gama, Guará II, L2 Sul, Paranoá, Park Way, Riacho Fundo II, Taguatinga e Zona Cívica, que apresentaram apenas uma entrega cada.

A partir do gráfico de distribuição de entregas obtido, pôde-se caracterizar e identificar as regiões que possuíram maior concentração de entregas de concreto. Foi entregue um total de 543,5 m³, distribuído entre as oitenta e cinco entregas realizadas de acordo com a demanda da empresa solicitante. Da frota de caminhões dispostas nas duas usinas, dezenove caminhões (67,9%) possuíam volume máximo de carga de 10m³, enquanto nove (32,1%) possuíam volume máximo de carga de 8m³. Individualmente, a Usina 1 possuía a contribuição para este estudo de dezoito (64,3%) caminhões, sendo que dez (55,5%) eram caminhões de 10m³ e oito (44,4%) eram de 08 m³. Em relação à Usina 2, que representava a contribuição total de dez (35,7%) caminhões, cinco (50%) eram caminhões de volume máximo de 10 m³ e os outros cinco (50%) eram caminhões com volume máximo de transporte de 08 m³. O volume de transporte em cada viagem era de, no mínimo, três metros, por questões normativas quanto à qualidade da mistura do concreto, e poderia chegar a até 08 ou 10 m³, dependendo da capacidade do caminhão.

Cada um dos vinte e oito motoristas e seus respectivos caminhões foram observados, e os dados quanto à exposição a ruído e vibração durante as oitenta e cinco entregas realizadas foram analisados de maneira individual. As informações a respeito dos caminhões fornecidas pela empresa coparticipante podem ser visualizadas no Apêndice C deste estudo.

5.2 EXPOSIÇÃO AO RUÍDO OCUPACIONAL

Para avaliar o nível de exposição ao ruído ocupacional, foram realizadas medições dentro da cabine dos caminhões, apenas durante o transporte de carga e o retorno à usina. Os dados de exposição foram coletados de acordo com a metodologia imposta pela Norma de Higiene Ocupacional (NHO) 01 – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído, bem como suas considerações técnicas e ações recomendadas.

A exposição ao ruído depende da distância da central dosadora até a obra civil de destino e das condições de trânsito, sejam elas o tráfego de veículos, velocidade da via ou até mesmo as condições do pavimento. O tempo de exposição médio para cada percurso realizado pelos motoristas foi de vinte e quatro minutos, que abrangeu os transportes e o retorno à usina. Referente à diária total de trabalho, o tempo médio de exposição ao ruído ocupacional foi de 02 h 09 min. O tempo de exposição, o volume de concreto transportado e a quantidade de viagens realizadas durante o dia da realização do estudo em cada caminhão podem ser visualizados por meio do Apêndice D.

5.2.1 Exposição Total Diária ao Ruído

O registro de Nível de Pressão Sonora (NPS) obtido de acordo com a normativa empregada, teve início com a saída pelos portões da central dosadora e foram finalizados com a chegada à obra civil de destino. Ao retornar à usina, o medidor foi iniciado ao começar o deslocamento do caminhão e interrompido nos portões de acesso à central dosadora. Os Níveis Médios (NM) de exposição diária para cada motorista podem ser visualizados pela Figura 29.

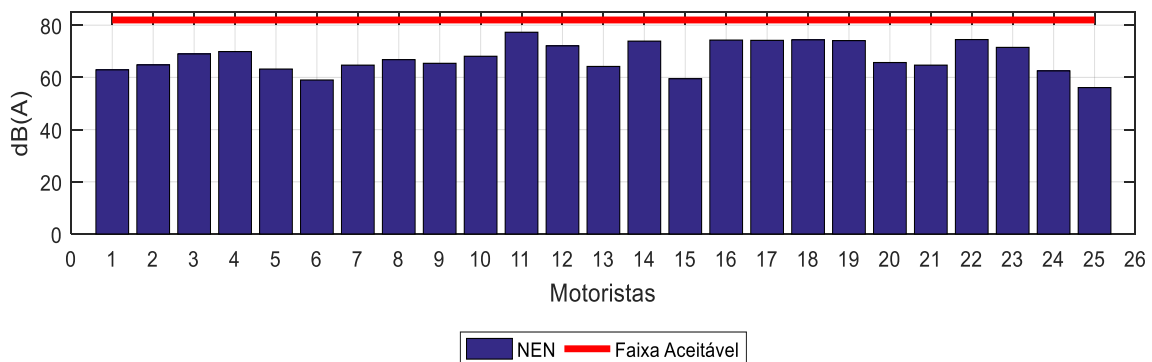


Figura 29 – Níveis médios de exposição diária.

De acordo com os resultados obtidos, nenhum dos motoristas em estudo apresentaram exposição a ruído ocupacional superior à “Faixa aceitável” descrita pela NHO 01, de 82 dB(A).

Os motoristas vinte e seis a vinte e oito não foram apresentados no gráfico por possuírem caminhões equipados com ar-condicionado, permitindo que executassem os trajetos com as janelas totalmente fechadas. Estes motoristas não apresentaram valores de exposição superiores a 80 dB(A) em nenhum momento durante o acompanhamento. Já os veículos que trafegaram com as janelas abertas, apresentaram exposição de 74,6% a 99,5% da “Faixa Aceitável” de exposição, fixada em 82 dB(A). As vinte e cinco amostras utilizadas apresentaram valor médio de exposição em 73,5 ($\pm 5,6$) dB(A), sendo o maior valor de exposição encontrado para o motorista 21, em 81,6 dB(A); e o menor valor de exposição encontrado em 61,2 dB(A), para o décimo sexto motorista. A variação de exposição entre os motoristas pode estar relacionada ao fluxo do tráfego urbano e ao tempo de exposição.

Embora nenhum dos motoristas tenha apresentado exposição superior a 82 dB(A), outras características foram avaliadas como possíveis contribuintes à exposição ao ruído: a diferença regional entre as duas usinas em estudo; o período em que as entregas foram realizadas, matutino ou vespertino; e ainda, se havia uma maior exposição durante o transporte de carga ou durante o retorno à usina.

5.2.2 Contribuição Regional Quanto ao Ruído Ocupacional

A diferença regional entre as duas usinas foi verificada principalmente durante o tráfego urbano, uma vez que a Usina 1 se localizava em uma região de transporte de cargas, em que havia acesso a ruas e avenidas. Já a Usina 2, estava localizada em uma região com rápido acesso à rodovia, que apresentava tráfego intenso. A Figura 30 ilustra a comparação quanto à exposição ao ruído entre as duas Usinas utilizadas neste estudo.

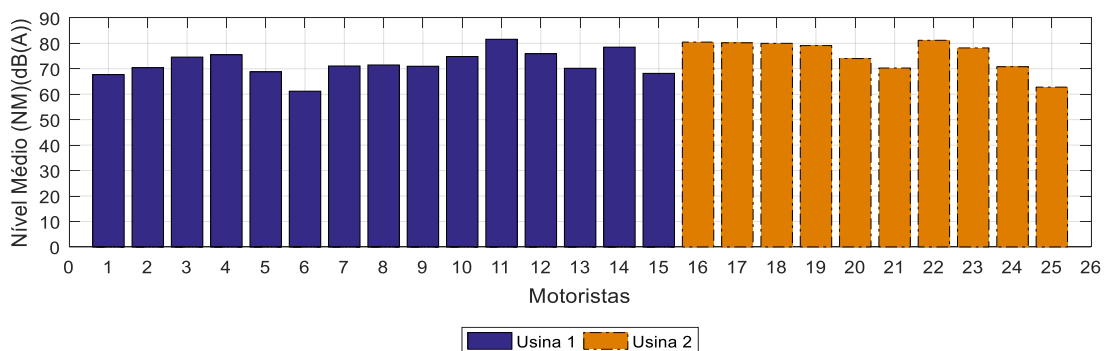


Figura 30 – Níveis de exposição a ruído entre usinas.

Os dados apresentados na Figura 30 correspondem aos vinte e cinco motoristas considerados para efeito de exposição ao ruído, sendo quinze provenientes da Usina 1 e dez, da Usina 2. A média encontrada para os valores de exposição ao ruído na Usina 1 foi de 72,0 ($\pm 4,6$) dB(A), enquanto que para a Usina 2 foi de 75,7dB(A) ($\pm 6,0$). Para a Usina 1, o maior valor de exposição obtido foi de 81,6 dB(A), apresentado pelo décimo primeiro motorista, enquanto o sexto motorista apresentou o menor valor de exposição, de 61,2 dB(A). Para a Usina 2, os valores extremos de exposição foram obtidos para o vigésimo segundo e o vigésimo quinto motoristas, sendo o maior valor de exposição em 81,2 dB(A) e menor em 62,8 dB(A), respectivamente.

Apesar da diferença de localidade e de diferentes características do tráfego urbano, como o acesso a ruas, avenidas e rodovias para as duas usinas, a normalidade de distribuição dos resultados para os vinte e cinco motoristas em análise foi assegurada por meio do software *IBM SPSS Statistic 25* ao utilizar o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$) que, conforme ilustrado pela Figura 31, apresenta distribuição normal.

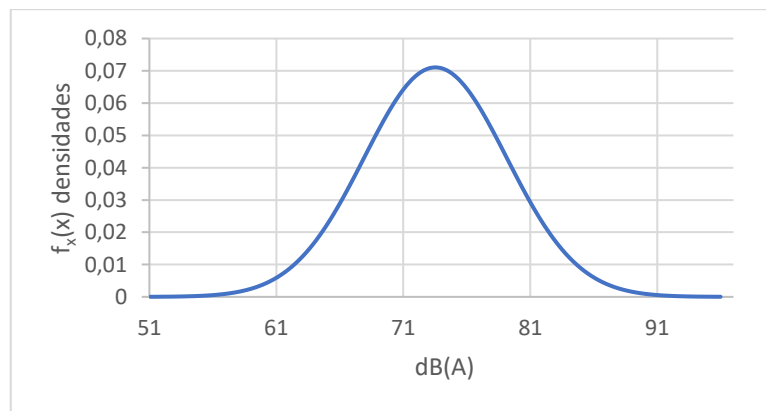


Figura 31 – Curva de distribuição de exposição ocupacional ao ruído.

Ao aplicar o teste t-independente entre as duas diferentes usinas, não foi encontrada diferença significativa entre as médias de exposições obtidas ($t(23) = -1,95$; $p > 0,05$).

5.2.3 Contribuição do Turno de Trabalho Quanto à Exposição ao Ruído Ocupacional

A avaliação quanto ao período em que as entregas foram realizadas teve como fundamento o estudo proposto por Jamalizadeh et al. (2018), no qual foi possível identificar o período de trabalho em que motoristas profissionais apresentaram maior risco de exposição.

Para a avaliação proposta, foram estabelecidos dois turnos de trabalho, matutino e vespertino. O turno matutino teve origem às 07 h e era finalizado às 12 h, enquanto o turno vespertino se iniciava às 12 h e se encerrava às 19 h 30 min. Ao analisar apenas o período matutino, dos vinte e cinco motoristas expostos no estudo, três não apresentaram exposição acima de 80 dB(A), conforme apresentado pela Figura 32.

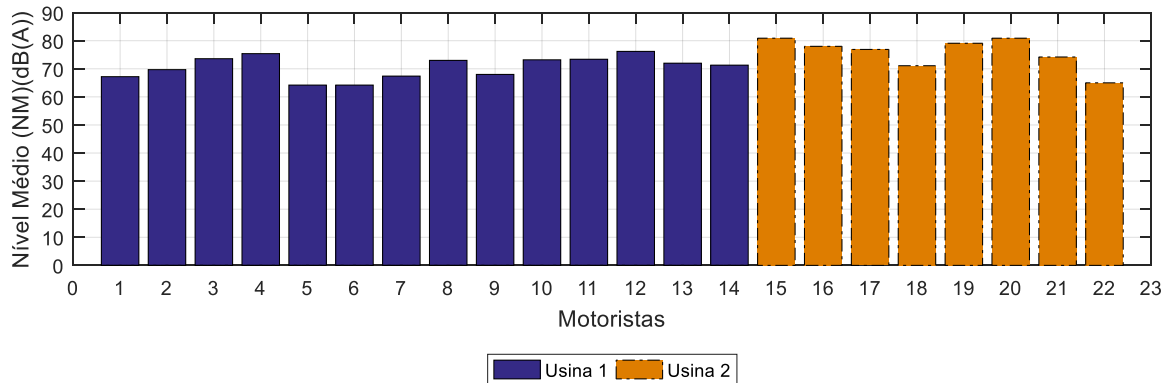


Figura 32 – Comparativo de exposição entre usinas para o turno matutino.

A média de exposição obtida para a Usina 1 no período matutino foi de 70,6 ($\pm 3,9$) dB(A), enquanto para a Usina 2, a média encontrada foi de 75,7 ($\pm 5,4$) dB(A). Dos vinte e dois motoristas em questão, quatorze (63,6%) eram provenientes da Usina 1 e oito (36,4%), da Usina 2. O maior valor de exposição no período matutino obtido entre as duas usinas foi de 80,9 dB(A), referente à Usina 2.

Ao analisar apenas o período vespertino, todos os vinte e cinco motoristas em estudo apresentaram valores de exposição acima de 80 dB(A) durante algum momento do período proposto. A Figura 33 apresenta os valores de exposição obtidos para as duas usinas no período vespertino.

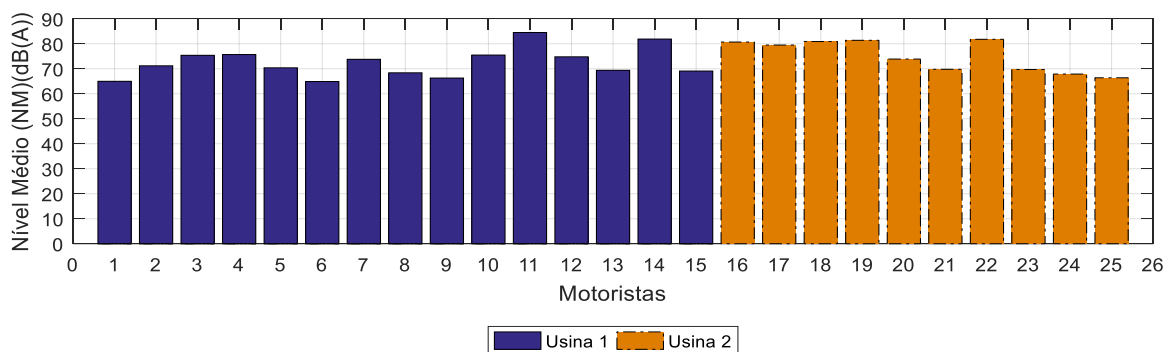


Figura 33 – Comparativo de exposição entre usinas para o turno vespertino.

Diferente da análise diária e matutina, na qual nenhum dos motoristas em estudo apresentou valores de exposição superiores à “Faixa Aceitável” de exposição, ao analisar apenas a exposição ao ruído durante o período vespertino, o décimo primeiro motorista apresentou *NM* de exposição a ruído em 84,5 dB(A), valor superior a 82 dB(A) referente à “Faixa Aceitável” proposta. Apesar de o décimo primeiro motorista ter apresentado o maior valor de exposição a ruído durante o período vespertino e pertencer à Usina 1, o valor de exposição médio obtido para a Usina 1 durante este período proposto foi de 72,4 dB(A), enquanto a Usina 2 apresentou valor médio de exposição de 75,2 dB(A). Consequentemente, para os dois períodos analisados, a Usina 2 apresentou maior valor médio de exposição do que quando comparada à Usina 1. A diferença regional das usinas pode ser um fator que contribuiu para que a Usina 2 apresentasse maior média de exposição em ambos os períodos, decorrente de seu acesso mais imediato a rodovias.

De modo geral, no período matutino, dos vinte e cinco caminhões que apresentaram exposição ao ruído, três não manifestaram exposição superior a 80 dB(A). No período vespertino, todos os vinte e cinco caminhões apresentaram contribuição para a exposição ao ruído. A Figura 34 ilustra o comparativo efetuado entre os períodos matutino e vespertino de forma geral, independente da usina para os vinte e cinco motoristas analisados.

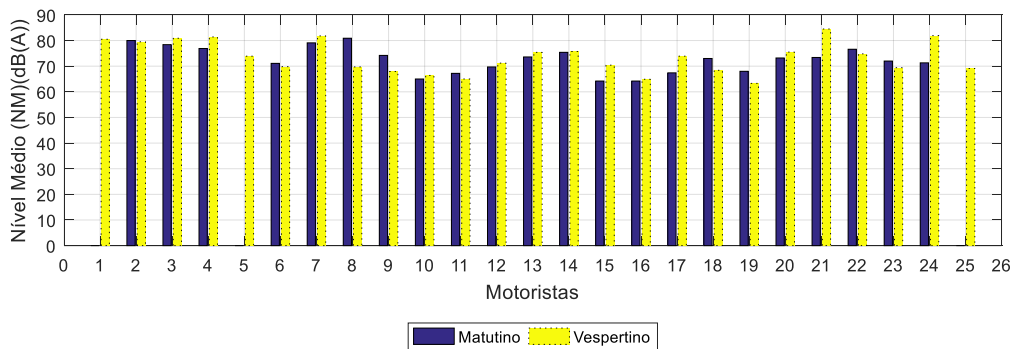


Figura 34 – Exposição entre turnos matutino e vespertino.

A média de exposição para as duas usinas no período matutino foi de 72,5 ($\pm 5,0$) dB(A), sendo o maior valor de exposição em 80,9 dB(A), apresentado pelo segundo motorista; e o menor valor de exposição em 64,2 dB(A), apresentado pelos motoristas de número dezesseis e dezessete. O período vespertino para as duas usinas apresentou a média de 73,5 ($\pm 6,0$) dB(A), sendo o maior valor de exposição em 84,5 dB(A), apresentado pelo vigésimo primeiro motorista

e o menor valor de exposição em 64,9 dB(A), apresentado pelo décimo sexto motorista. Em quinze (60%) dos motoristas avaliados, o período identificado de maior exposição foi o vespertino. O primeiro, o quarto e o vigésimo quinto motoristas, no período matutino, não apresentaram exposição a ruído superior a 80 dB(A).

Em contrapartida à análise total diária, ao analisar apenas os períodos de trabalho de maneira individual, o turno vespertino apresentou um valor de exposição acima da “Faixa Aceitável” de exposição de 82 dB(A). Este dado pode estar associado ao crescimento do número de veículos em circulação no decorrer do dia, que Jamalizadeh et al (2018), em seu estudo proposto, relacionou ao fato de seu maior valor de exposição ter sido encontrado no período noturno. Para fins de comparação, a Figura 35 apresenta apenas os motoristas cuja exposição em ambos os períodos, matutino e vespertino, superou 80 dB(A).

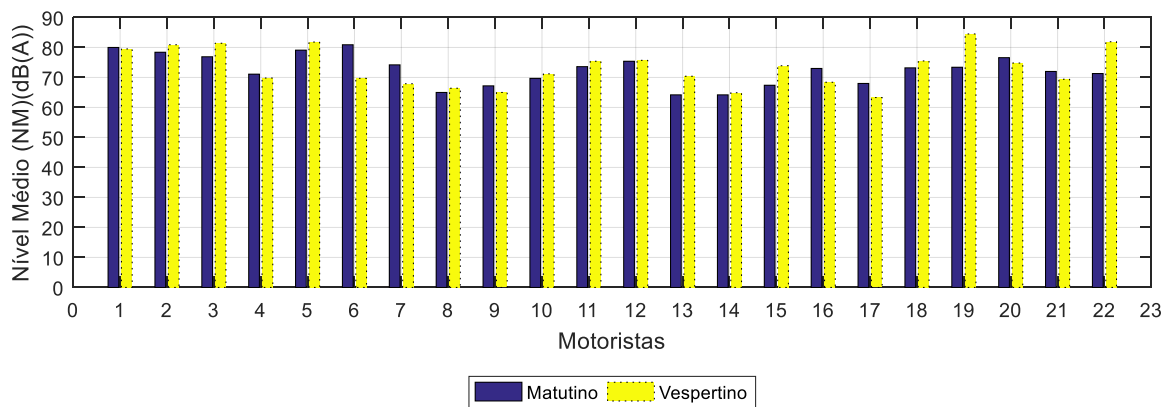


Figura 35 – Comparativo de exposição entre turnos matutino e vespertino.

Foi realizado o teste t pareado para as duas novas médias obtidas, com 72,5 ($\pm 5,1$) dB(A) para o período matutino e 73,2 ($\pm 6,3$) dB(A) para o período vespertino. Foi verificado que, em média, o valor de exposição matutina ($M = 72,5$) foi igual ao valor médio de exposição vespertina ($M = 73,2$), $t(21) = 0,523$, $p > 0,05$. Logo, não foi encontrada diferença significativa de exposição entre os períodos matutino e vespertino.

5.2.4 Avaliação do Transporte de Carga Quanto à Avaliação do Ruído Ocupacional

Ainda sobre a exposição ocupacional ao ruído, foi também verificado se havia diferença na exposição ao ruído durante o transporte de carga e o retorno do caminhão à usina. Durante o transporte de carga, o motor do caminhão trabalhava de forma mais intensa, a fim de garantir

a rotação necessária do globo para que o concreto não segregasse. Já durante o retorno à usina, o caminhão poderia atingir uma velocidade maior de deslocamento, posto que seu limite era de 60 km/h quando cheio, e de 70 km/h quando vazio. Para este parâmetro, cada entrega foi analisada de maneira individual. No entanto, foram considerados apenas os trajetos com exposição superior a 80 dB(A) durante a entrega de concreto e retorno à usina, conforme ilustrado pela Figura 36.

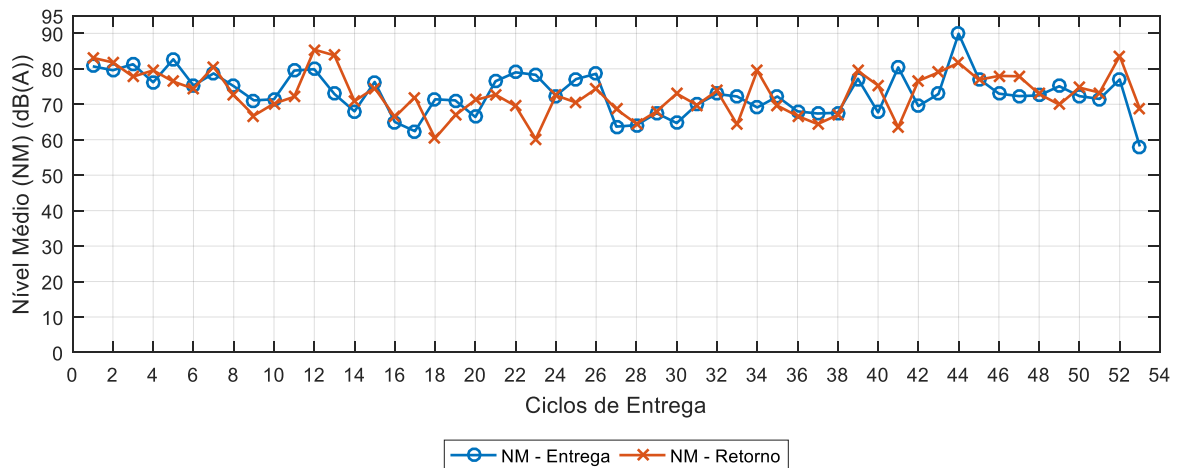


Figura 36 – Contribuições de trajetos de entrega de concreto e retorno à usina quanto à exposição ao ruído.

Para as condições propostas, foram encontrados cinquenta e três ciclos, com cada ciclo representado pela entrega de concreto e retorno à usina. Para os cinquenta e três ciclos, vinte e oito ciclos (52,8%) apresentaram maior exposição a ruído durante o retorno à usina. Durante o trajeto de entrega, a maior exposição a ruído foi verificada em 89,9 dB(A), para o vigésimo primeiro motorista. Para o trajeto de retorno, a maior exposição foi verificada em 85,4 dB(A), para o sétimo motorista do estudo. Ambos os registros foram provenientes da Usina 1 e constatados no período vespertino, na faixa das 12 h às 15 h. A maior exposição ao ruído durante o trajeto de retorno à usina pode ser justificada pelo aumento do limite de velocidade do veículo, que foi de 60 km/h para 70 km/h e pelo fato de os motoristas haverem trafegado com as janelas abertas.

Não foram registradas anomalias de exposição a ruído durante a avaliação, como a presença de carros de som ou emissão de ruído intenso no trânsito. Os motoristas de número sete e vinte e um são os que apresentaram maior exposição diária ao ruído, assim como verificado na Figura 29. Não foi possível verificar o nível de exposição a ruído para as mesmas condições de velocidade. Além dos imprevistos derivados do tráfego urbano, os motoristas

recebem acréscimos salariais de acordo com a quantidade de concreto produzido, sendo assim, buscam retornar à usina de concreto de forma mais rápida para realizar novas entregas.

5.3 EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO

Para avaliar o nível de exposição a VCI, foram realizadas medições *in loco* durante o acompanhamento diário de trabalho dos motoristas de caminhão betoneira. Os dados de exposição foram coletados de acordo com a metodologia imposta pela Norma de Higiene Ocupacional (NHO) 09 – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro, assim como suas considerações técnicas e ações recomendadas.

5.3.1 Estimativa de Exposição Diária a VCI

A medição de exposição à vibração teve origem ao sair da usina de concreto e contemplou todo o período em que o motorista manteve contato com o assento do veículo. Cada percurso efetuado pelos motoristas, seja de entrega ou retorno à usina, foi considerado como uma componente diária de exposição. A quantidade de componentes realizadas por cada motorista, a quilometragem percorrida e a exposição diária *aren* e *VDVR* obtidas podem ser visualizados por meio do Apêndice E.

As componentes de exposição foram divididas para cada trajeto realizado e contemplaram até mesmo os possíveis desvios realizados pelos motoristas durante a entrega de concreto. Para cada momento em que a exposição foi interrompida, houve a criação de uma nova componente de exposição. A distância percorrida contemplou o somatório de todos os trajetos efetuados durante o dia de realização do estudo. O valor em quilômetros foi registrado com o auxílio do hodômetro equipado em cada caminhão.

As amostras possuíam tempo de exposição médio à vibração de 169,7 ($\pm 87,1$) min. Os caminhões de números 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 25 apresentaram diferentes tempos de exposição quando comparados à exposição ao ruído, pelo fato de estes caminhões não terem sido mensurados simultaneamente.

O cálculo do *aren* respeitou a toda metodologia imposta pela normativa NHO 09. A normativa também informa o critério de julgamento e tomada de decisão por faixa de valor de exposição, assim como já informado por meio da Tabela 6. Já o parâmetro *VDVR* é um complemento ao valor *aren* e possui maior importância quando há registros de choques ou solavancos significativos durante a exposição do trabalhador.

O maior valor de exposição diária a VCI foi obtido pelo décimo sexto motorista e o menor valor de exposição foi obtido pelo quinto motorista. O quinto motorista apresenta também a menor distância percorrida e o menor tempo de exposição à vibração dentre os vinte e oito motoristas. Já o décimo sexto motorista apresenta o maior tempo de exposição à vibração e a segunda maior quilometragem diária percorrida dentre os vinte e oito motoristas, o que indica uma proporcionalidade entre tempo de exposição, distância percorrida e exposição a VCI, assim como afirmado por Bibhut e Mansfield (2015).

Para toda a amostra de estudo, os motoristas onze, doze, dezesseis e vinte e dois, que representam 14,3% da amostra total, obtiveram valor de exposição acima do nível de ação especificado pela NHO 09, conforme pode ser visualizado pela Figura 37.

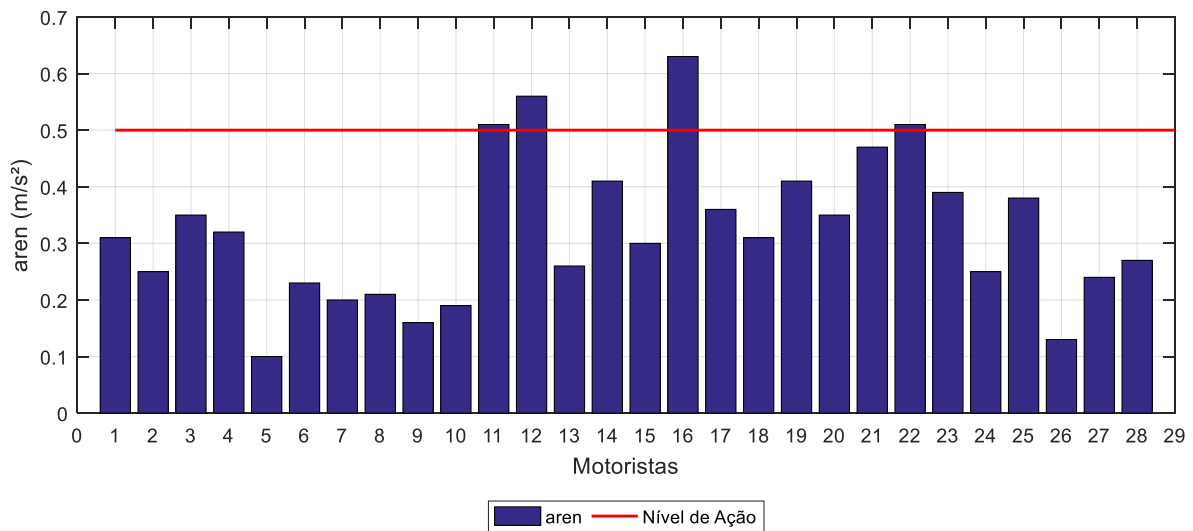


Figura 37 – Estimativa diária de exposição a VCI.

As amostras excedentes ao limite estipulado apresentaram um período de exposição de no mínimo 34% maior do que a média de exposição diária. Durante o processo de acompanhamento dos motoristas, eventos relacionados a trepidações, percursos em estradas de terra, buracos e/ou lombadas acentuadas foram registrados para as amostras 01, 03, 04, 07, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 20, 23 e 27, o que pode ter contribuído para o aumento do nível de vibração, como identificado por Lewis e Johnson (2012), Tamrin et al. (2012), Zanol (2014), Nunes e Silva (2015), Vallone et al. (2016), Zanatta (2017) e Picoral Filho et al. (2019).

De acordo com a normativa brasileira, para os valores de exposição obtidos, ações preventivas devem ser adotadas, como o aumento da periodicidade de manutenção dos veículos e a avaliação sistemática e repetitiva dos colaboradores quanto à exposição a VCI, além da redução do tempo de exposição à vibração. Embora obtidos os valores diários de exposição e

verificada sua criticidade, assim como as medidas preventivas e corretivas a serem empregadas, a exposição a VCI ocorre de maneira dinâmica e pode ser influenciada por diversos fatores, como os já listados na bibliografia citada ao decorrer do estudo.

5.3.2 Avaliação das Componentes de Exposição a VCI

Um dos fatores que objetivou-se investigar é o detalhamento e a decomposição da exposição diária em componentes de exposição. Devido à função dos motoristas ser sempre a entrega de concreto e retorno à usina, diferentes interpretações a respeito da dinâmica de exposição a VCI podem ser obtidas, como por exemplo, que para toda a diária de trabalho o motorista esteja exposto a níveis similares de exposição a VCI, classificando-os como um grupo de exposição. Esclarecido isto, foi realizado um comparativo entre a metodologia a partir de diferentes componentes de exposição e a metodologia a partir da projeção diária de uma componente de exposição. A projeção foi obtida pela repetição da componente de entrega e retorno referente ao primeiro trajeto percorrido e a média diária de viagens informada para cada Usina, sendo quatro e duas viagens, para as Usinas 1 e 2, respectivamente. Os resultados do parâmetro *aren* obtidos para a exposição real e a exposição por projeção de componentes estão representados pela Figura 38.

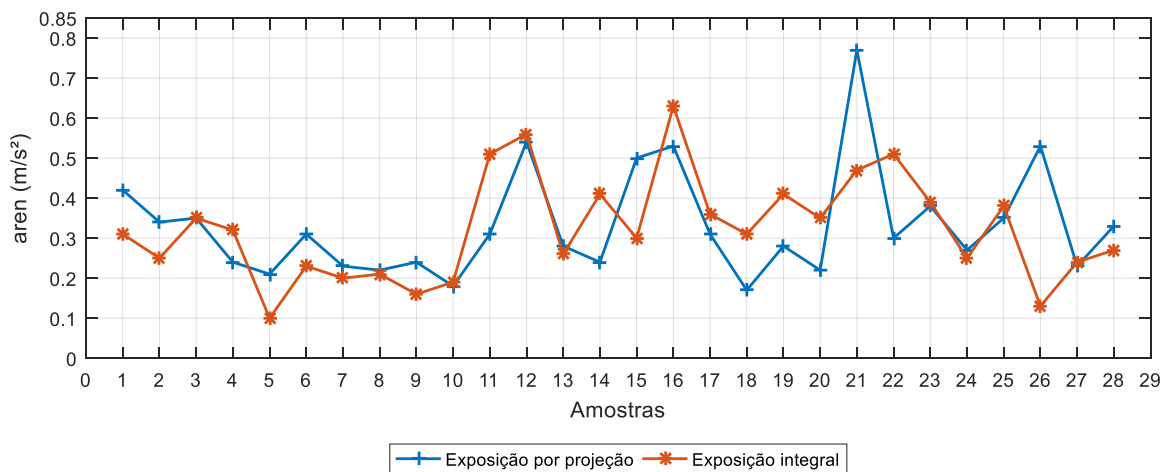


Figura 38 – Exposição integral x exposição por componentes.

Assim como mencionado anteriormente, as amostras de números um a dez eram provenientes da Usina 2 e aquelas de números onze a vinte e oito, da Usina 1. Em quatorze amostras (50%), a exposição real apresentou valor *aren* superior ao valor obtido por projeção,

em treze (46,4%) das amostras, a exposição por projeção apresentou *arep* superior à exposição real e em um caso (3,6%) os valores de exposição por projeção e exposição real obtiveram o mesmo resultado. A maior divergência encontrada para as duas metodologias foi registrada na amostra vinte e um. As projeções ocorreram com uma repetição do primeiro trajeto de entrega e retorno à usina de concreto, o que, para esta amostra, foi a de maior contribuição para a exposição.

Assim como as ideias propostas por Bibhut e Mansfield (2015), Nunes e Silva (2015) e Santos e Nunes (2019), para realizar uma análise da exposição a VCI, a atividade desenvolvida deveria ser avaliada de maneira consciente, registrando possíveis irregularidades de pavimento, tempos de pausa e situações atípicas. Para estas condições de estudo, a escolha do acompanhamento integral apresentou maior eficácia ao se quantificar a exposição a VCI.

5.3.3 Avaliação da Exposição a VCI devido ao transporte de carga

Como citado por Bibhut e Mansfield (2015), o processo diário de exposição a VCI deve ser identificado e caracterizado etapa por etapa, para que medidas preventivas sejam aplicadas de forma eficiente. Com base nisto, a Figura 39 apresenta os valores de exposição para todos os ciclos de viagem (entre entrega de concreto e retorno à usina), como o objetivo de avaliar a influência da massa de concreto transportado para a exposição a VCI. Para esta análise, os desvios realizados durante o percurso de retorno não foram considerados.

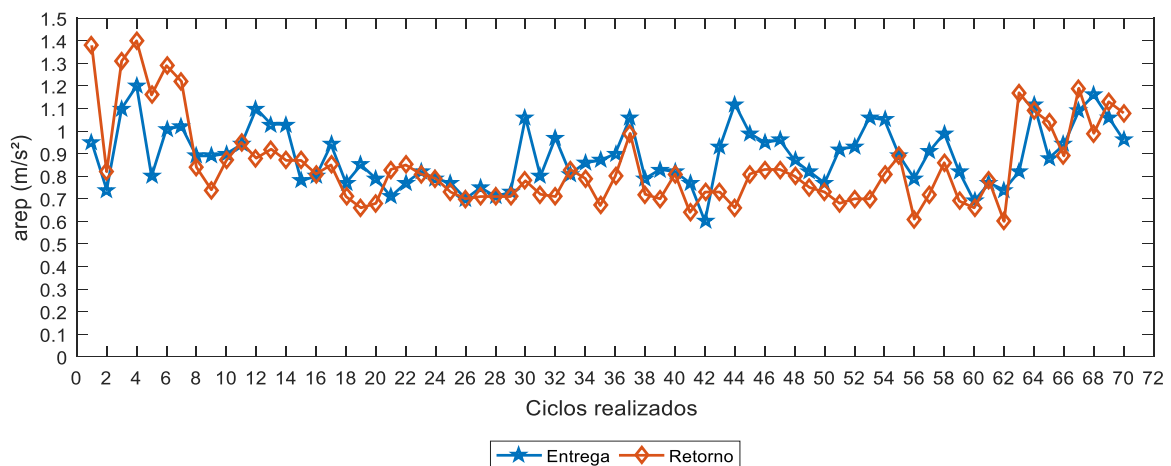


Figura 39 – Influência da massa transportada em relação à exposição a VCI.

Para os setenta ciclos identificados no decorrer do estudo, em cinquenta e um (72,8%) ciclos foram encontrados maiores valores de aceleração *arep* durante a entrega de concreto do

que no retorno à usina, com o caminhão vazio. Assim como Picoral Filho et al. (2019) apresenta em sua pesquisa maior grau de conforto para veículos pesados, ao levar em consideração a densidade estimada do concreto em estado fresco (entre 2.000 a 2.800 kg/m³), a massa transportada pelo caminhão pode ter apresentado influência sobre os níveis de exposição a VCI sofridos pelos motoristas. Já os dezenove ciclos (27,2%) que apresentaram valores *arep* maiores no retorno à usina do que no transporte de carga podem ter sido influenciados pela velocidade adotada pelo caminhão durante o retorno à usina. Da mesma forma, concluíram Kumar (2004) e Picoral Filho et al. (2019), que associaram o aumento da velocidade de tráfego e irregularidades do pavimento como fatores contribuintes para a exposição a VCI.

Ainda sobre a exposição durante o transporte de carga, foram relacionados os valores de aceleração obtidos, a região de entrega de concreto e o tempo de percurso gasto pelo motorista para realizar a entrega, conforme pode ser visualizado pela Figura 40.

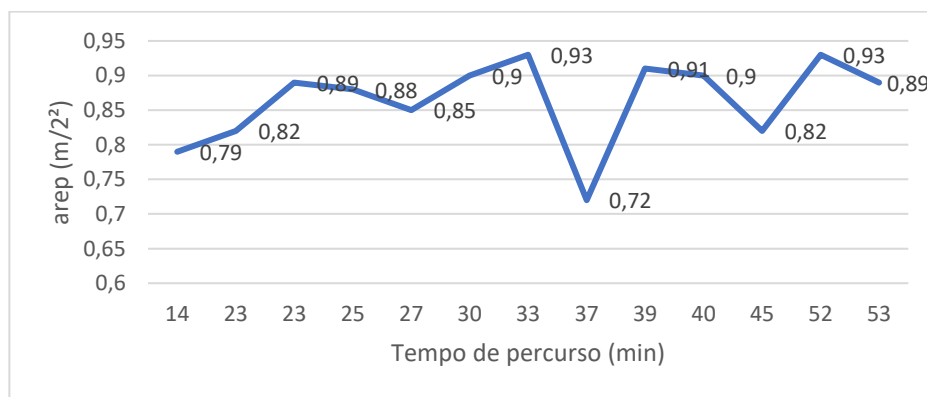


Figura 40 – Relação do tempo de exposição aos níveis de VCI.

As regiões foram dispostas de acordo com o tempo médio de percurso. Cada tempo médio de percurso representa uma região de entrega, sendo elas ordenadas como: SIA, Asa Sul, Noroeste, Águas Claras, Asa Norte, Vicente Pires, Samambaia, Grande Colorado, Lago Sul, Ceilândia, Vila Planalto, Jardim Botânico e Sobradinho II.

As regiões que apresentaram maior valor médio de aceleração (*arep*) foram Jardim Botânico, Samambaia e Lago Sul, com 0,93 m/s², 0,93m/s² e 0,91m/s², respectivamente. Ao analisar a distribuição dos valores de *arep*, pôde-se perceber o aumento gradativo da aceleração de acordo com o tempo de exposição a VCI, tal como proposto por Dupius e Zerlett (1986) e Mansfield (2005), quando indicaram que quanto maior o tempo de exposição, maior será a chance de que o trabalhador desenvolva problemas de saúde relacionados à exposição à vibração. Entretanto, as regiões representadas por Grande Colorado e Vila Planalto, que

apresentaram valores de $0,72 \text{ m/s}^2$ e $0,82 \text{ m/s}^2$, não acompanham esta proporcionalidade de tempo de exposição e exposição a VCI. A descontinuidade dos valores pode estar associada à qualidade do pavimento, pois não foi registrada irregularidade de pista para as duas regiões citadas.

5.3.4 Avaliação metodológica entre ISO 2631 e NHO 09.

Outra diferença metodológica encontrada na bibliografia a respeito da exposição a VCI são os parâmetros utilizados para quantificar a exposição diária: *aren*, referente à normativa brasileira NHO 09, e $A(8)$, referente à normativa internacional ISO 2631. Embora a elaboração da NHO 09 tenha sido baseada na metodologia apresentada pelo normativa internacional, trabalhos de origem brasileira, como Nunes e Silva (2015), Zanatta (2017), Picoral Filho et al. (2019) e Santos e Nunes (2019), apresentam em seu estudo a normativa ISO 2631 como referência.

Ao comparar as duas normativas, foram listadas três observações:

1 – A normativa internacional, por meio do senso crítico do avaliador, permite a escolha de avaliação de duas diferentes maneiras: considerando apenas o eixo dominante de exposição, entre “x”, “y” e “z”, ou utilizando a ponderação entre os três eixos.

2 – A normativa internacional utiliza em sua metodologia a duração efetiva à exposição, considerando apenas o período em que o trabalhador está exposto a uma energia vibratória. Já a normativa brasileira considera como tempo de exposição todo o período da jornada diária de trabalho, diluindo o período de exposição ao longo das horas totais trabalhadas.

3 – A normativa internacional, diferentemente da brasileira, não estabelece limites de permissibilidade ao trabalho; apenas aponta valores subjetivos em que os trabalhadores possam apresentar desconforto quanto à exposição a VCI.

Isto exposto, buscou-se avaliar e exemplificar a diferença metodológica entre as duas normativas, ISO 2631 e NHO 09, conforme ilustrado pela Figura 35. Portanto, os resultados obtidos foram avaliados por três diferentes parâmetros: o parâmetro $A(8)$, considerando a dominância do eixo de maior exposição; o parâmetro $A(8)$, considerando a ponderação entres os três eixos, conforme ISO 2631; e pelo parâmetro *aren*, indicado pela NHO 09.

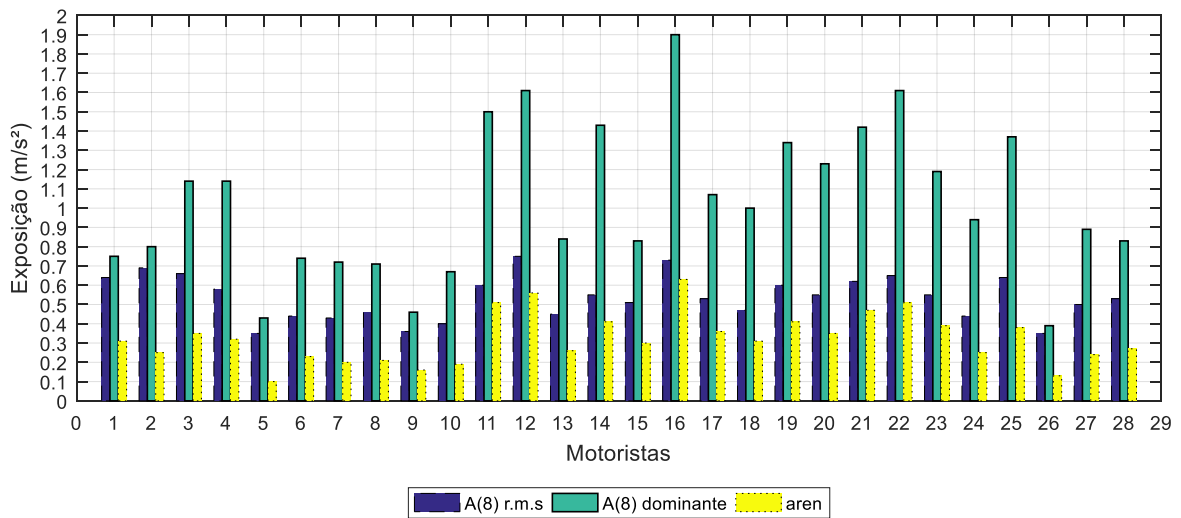


Figura 41 – Comparativo metodológico para exposição a VCI.

Para todas as vinte e oito amostras apresentadas em estudo, o eixo de maior exposição à vibração foi identificado pelo plano “z”, que representa o movimento vertical ao eixo do corpo, normal ao plano do chão, conforme apresentado no Apêndice F.

Como pode ser observado pela Figura 35, o parâmetro *aren* apresentou a menor exposição entre as três metodologias. Mesmo quando a ISO 2631 utilizou a ponderação entre os três eixos de exposição, o tempo efetivo de exposição apresentado pela normativa nacional e internacional ainda foram divergentes. Deste modo, é de consenso comum que a normativa brasileira apresente valores de exposição mais brandos quando comparados à normativa internacional, pois aquela distribui a exposição dos trabalhadores à vibração para toda a diária de trabalho.

Ao analisar os resultados obtidos com os valores subjetivos ao conforto, apresentado pela ISO 2631, três amostras (10,7%) do estudo apresentaram exposição “bastante desconfortável”, enquanto vinte e cinco amostras (89,3%) puderam ser classificadas como condições “desconfortáveis” de exposição, quando empregada a metodologia de valor de exposição pelo eixo dominante. Para a ponderação entre os três eixos de exposição, os resultados aos níveis subjetivos de conforto se dividiram em vinte e uma amostras (75%) como “pouco desconfortável” e sete amostras (25%) como “bastante desconfortável”. Assim, para a atual situação proposta, todos os motoristas necessitariam da adoção de, no mínimo, medidas preventivas.

Apesar de a ISO 2631 não apresentar os limites normativos de exposição à vibração, no Brasil, a utilização de tal normativa em ambientes acadêmicos pode se dar pela maior consideração ao conforto e bem-estar do trabalhador, quando comparada às normas brasileiras.

5.3.5 Predição de sintomas musculoesqueléticos

A partir da metodologia proposta por Zanatta (2017), pretendeu-se verificar a relação entre a postura adotada pelos motoristas ao dirigir e o IMC de cada motorista com os relatos dos entrevistados a respeito de dores e/ou desconfortos que pudessem estar relacionados à exposição à vibração. De acordo com o questionário de anamnese preenchido pelos motoristas no início da pesquisa, foram relatados desconfortos e/ou dores nas regiões ilustradas pela Figura 42.

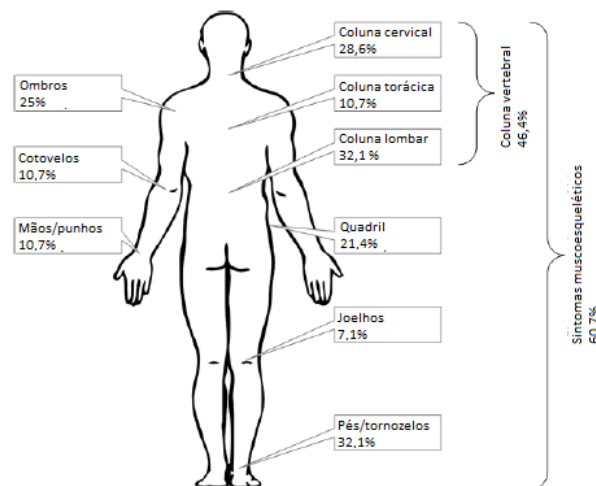


Figura 42 – Sintomas musculoesqueléticos relatados pela amostra de estudo.
Adaptado de Zanatta (2017).

No geral, 60,7% dos motoristas relataram sofrer algum tipo de dor ou desconforto. Dentre os vinte e oito motoristas entrevistados, 46,4% apresentaram desconforto na região da coluna vertebral e 32,1% apresentaram desconforto na região lombar. Em relação aos sintomas musculoesqueléticos, Okurinbido (2006), ressaltou os riscos de uma má postura adotada ao dirigir em combinação com os níveis de exposição a VCI como um dos principais contribuintes ao aumento da prevalência de lombalgia. Em contrapartida, para Griffin (1990), permanecer por um longo período em uma postura resultará em um desconforto gradual, independente dos níveis de exposição a VCI.

Com o auxílio do software *IBM SPSS Statistics* versão 25, foi realizada uma regressão logística binária e verificada a significância da Postura adotada ao dirigir, sendo o Grupo 0, como postura curvada e o Grupo 1, como postura ereta, IMC, nível de exposição a VCI e Idade de cada motorista. Dentre os entrevistados, quatorze (50%) dos motoristas relataram não possuir

qualquer prática de exercícios físicos. Sendo assim, procurou-se estabelecer uma relação entre o relato de desconforto, a postura adotada ao dirigir e a qualidade de vida em que os motoristas se encontravam no período deste estudo. Os dados a respeito da postura adotada ao dirigir obtido por meio do questionário de anamnese, apontaram que, dentre os vinte e oito motoristas entrevistados, vinte e um (75%) afirmam adotar a postura ereta ao dirigir e sete motoristas (25%) responderam adotar a postura curvada/inclinada.

Para a variável binária dependente utilizada, foi classificada como Grupo 0, “Acometido” e Grupo 1, “Não Acometido”, com base no relato dos motoristas sobre dor e desconforto. Os motoristas foram classificados como “Acometidos” ao apresentar qualquer dor e/ou desconforto nas regiões listadas pelo questionário de anamnese. A princípio, foi adotado um valor de corte de 0,5 para classificação do modelo proposto, ou seja, valores inferiores a 0,5 foram classificados como grupo 0 e valores iguais ou superiores a 0,5 foram classificados como grupo 1. Para este valor de corte, foram preditos corretamente 78,6% dos casos, sendo 82,4% para o Grupo 0 (Acometido) e 72,7% para o Grupo 1 (Não Acometido). Para melhorar a capacidade de predição do modelo, foram testados novos valores de classificação, como pode ser observado pela Figura 43.

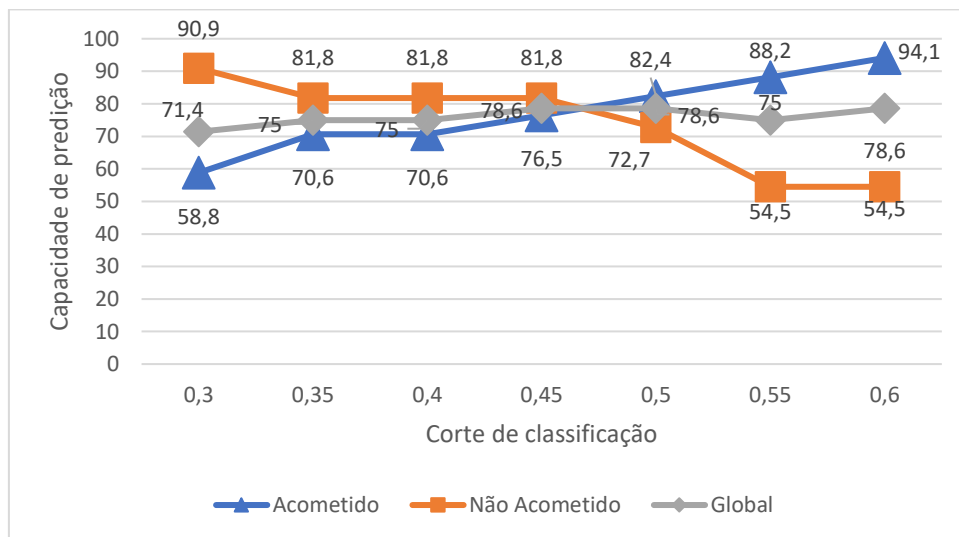


Figura 43 – Valores de corte para capacidade preditiva.

Concluiu-se que o melhor resultado global obtido foi no valor de corte de 0,5, ou seja, foram considerados “Não Acometidos” aqueles que apresentaram probabilidade superior a 50%.

Por meio da equação condicional de probabilidade, para a obtenção do valor dos termos α e β_1 , e a partir do prognóstico (D) obtido para as (Xs) variáveis, pôde-se comparar a

probabilidade de os motoristas de caminhão betoneira apresentarem dor e/ou desconforto ao adotarem as posturas ereta e curvada. Os valores obtidos com o auxílio do software *IBM SPSS* podem ser visualizados na Tabela 10.

Tabela 10 – Variáveis da equação.

	B	S.E	Wald	GL	Significância	Odds ratio
Postura	1,050	1,067	0,967	1	0,325	2,856
IMC	-0,307	0,149	4,217	1	0,040	0,736
<i>aren</i>	-3,003	4,123	0,530	1	0,466	0,050
Idade	0,046	0,063	0,544	1	0,461	1,047
Constante	6,538	4,286	2,327	1	0,127	690,752

De acordo com o grau de significância apresentado pelos parâmetros, Postura adotada, IMC, *aren* e Idade, apenas o parâmetro IMC apresentou significância de contribuição, $p < 0,05$. Ao adequar o modelo ao parâmetro significativo IMC, o modelo se apresentou significativo [$X^2(1) = 10,349$; $p < 0,035$, R^2 Nagelkerk = 0,419]. Pode-se concluir que, para os valores obtidos neste estudo, o IMC foi um preditor significativo (OR = 0,361; IC 95% = 0,549 – 0,986).

Assim, a probabilidade de os motoristas serem acometidos por sintomas musculoesqueléticos pode ser substituída na Equação [33] a fim de obtermos, então, a Equação [34], abaixo:

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-(6,538 + 1,050X_1 - 0,307X_2 - 3,003X_3 + 0,046X_4)}} \quad [34]$$

Ao separar os motoristas por grupos de IMC, sendo eles o grupo “Normal” ($18 \text{ kg/m}^2 < \text{IMC} < 24,9 \text{ kg/m}^2$), “Sobrepeso” ($24,9 \text{ kg/m}^2 > \text{IMC} > 30 \text{ kg/m}^2$) e “Obesos” ($\text{IMC} > 30 \text{ kg/m}^2$), foi possível verificar a proporcionalidade da tendência ao aumento da exposição a VCI ao aumento do IMC, conforme ilustra a Figura 44.

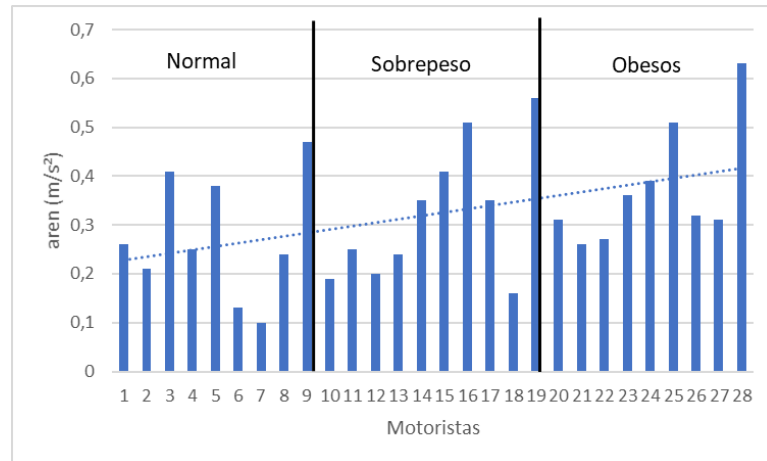


Figura 44 – Relação de nível de exposição e IMC.

Para o grupo “Normal”, foi encontrado o valor de IMC médio em 23,05 kg/m² e *aren* médio em 0,27 m/s²; para o grupo “Sobrepeso”, foi encontrado valor de IMC médio em 27,55 kg/m² e *aren* médio em 0,32 m/s²; já para o grupo “Obeso”, foi encontrado valor de IMC médio em 32,94 kg/m² e *aren* médio em 0,37 m/s². Portanto, a adoção de uma melhor qualidade de vida pode ser considerada uma medida preventiva às dores e aos desconfortos apresentados pelos entrevistados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

Na presente pesquisa, foi caracterizada a exposição ocupacional a ruído e VCI em motoristas de caminhão betoneira, buscando prevenir os possíveis riscos ocupacionais oriundos da profissão. A participação dos motoristas ocorreu de forma voluntária. A amostra de motoristas utilizados no estudo representa 87,5% de um total de trinta e dois entrevistados, distribuídos entre duas filiais de usinas de concreto distintas, que concordaram em contribuir com esta pesquisa.

De acordo com os resultados obtidos para a exposição a VCI, 14,3% das amostras apresentaram valores de exposição que excedem aos limites de ação então estabelecidos pelas normas regulamentadoras. Logo, faz-se necessária a adoção de medidas preventivas, como a redução no tempo de exposição e o aumento da frequência de manutenção dos caminhões, segundo sugerido pela norma vigente.

Durante a entrega de concreto e retorno à usina, a carga transportada apresentou influência na exposição a VCI em 72% dos ciclos de entrega apresentados. Buscou-se também avaliar e exemplificar a diferença metodológica entre as duas normativas, ISO 2631 e NHO 09, quanto à avaliação da exposição a VCI. Foi verificado, por meio de comparação, que a normativa brasileira apresenta valores de exposição mais brandos quando comparados à normativa internacional.

Para a exposição ao ruído, não foram registrados valores de exposição acima do limite estabelecido pelas normativas. Entretanto, ao comparar caminhões que possuíam aparelhos de ar-condicionado com aqueles que não os possuíam, foi verificada a redução dos níveis de exposição a ruído, visto que os motoristas possuíam a opção de trafegar pelas rodovias e vias urbanas com as janelas totalmente fechadas.

Ao verificar a diferença regional quanto à contribuição de exposição ao ruído ocupacional, não foi encontrada diferença significativa entre as médias de exposição obtidas entre as duas usinas ($p > 0,05$). O mesmo ocorreu ao verificar a diferença de exposição ao ruído ocupacional entre os turnos de trabalho matutino e vespertino, não foi encontrada diferença significativa entre as médias de exposição obtidas para as duas usinas ($p > 0,05$).

Quando comparados os valores de exposição ao ruído devido ao transporte de carga, o valor de exposição ao ruído obtido para a entrega de concreto foi avaliado como estatisticamente igual ao valor de exposição ao ruído obtido para o retorno do caminhão à usina.

Outro dado obtido pela pesquisa é a possibilidade de que as dores e desconfortos observados nos entrevistados possam estar relacionados à ausência da prática de atividades físicas, relatada por 50% da amostra, devido à associação dos valores de IMC dos motoristas aos relatos de sintomas musculoesqueléticos. A adoção de uma má postura ao dirigir, alinhada à permanência em uma mesma postura por longos períodos, e à ausência de atividades físicas contribui, potencialmente, para fadigas e gera dificuldades em manter uma rotina saudável de trabalho.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De forma complementar, foi possível identificar diversas lacunas não priorizadas neste estudo e que podem ser estimuladas em trabalhos futuros:

- Utilizar uma maior amostragem de motoristas;
- verificar a exposição ao ruído ainda dentro da usina de concreto, devido à movimentação de máquinas e equipamentos;
- verificar a relação do esforço físico exercido pelos motoristas para limpar e higienizar o caminhão em associação aos relatos de dores e desconfortos por eles informados;
- verificar a qualidade do pavimento das principais ruas e avenidas do DF;
- estimar a exposição a VCI para outras regiões do DF;
- padronizar a velocidade de tráfego e verificar a influência da variação da carga transportada na exposição a VCI;
- relacionar as frequências de perdas auditivas dos condutores com as frequências de exposição.

7 REFERÊNCIAS

- Ahmad, A. Z., Raza, A., Waheed, A. **Effects of Noise Pollution on the Hearings of the Drivers of the Public Transport in the City of Faisalabad.** American Journal of Pharmaceutical Sciences. v.11, 4p. Novembro. 2018.
- Almeida, S. F., Abrahão, R. F., Tereso, M. J. A. **Avaliação da Exposição Ocupacional À Vibração de Corpo Inteiro em Máquinas de Colheita Florestal.** Cerne. v. 21, 8p. Abril, 2014.
- Anflor, C. T. **Estudo da Transmissibilidade da Vibração no Corpo Humano na Posição Vertical e Desenvolvimento de um Modelo Dinâmico de Quatro Graus de Liberdade.** 2002. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- Alziadeh, A., Etemadinezhad, S., Charati, J. Y., Mohamadiyan, M. **Noise-Induced Hearing Loss in Bus and Truck Drivers in Mazandaran Province, 2011.** International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. v. 22, 6p. Março. 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655 – **Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento.** Rio de Janeiro, p.18. 2006.
- Balbinot, A., Tamagna, A. **Avaliação da Transmissibilidade da Vibração em Bancos de Motoristas de Ônibus Urbano: Um Enfoque no Conforto e na Saúde.** Revista Brasileira de Engenharia Biomédica. v. 18, n.1, 8p. Janeiro/Abril. 2002.
- Blood, R. P., Yost, M. G., Camp, J. E., Ching, R. P. **Whole-body Vibration Exposure Intervention among Professional Bus and Truck Drivers: A Laboratory Evaluation of Seat-suspension Designs.** Journal of Occupational and Environmental Hygiene. v. 12, 11p. Janeiro. 2015.
- Poton, André. **Como funciona a audição?, 2019.** Disponível em: <<https://blog.jaleko.com.br/como-funciona-a-audicao/>>. Acesso em: 08 de Abril. 2020.
- BRASIL, Resolução nº272 de 14 de Maio de 2000. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Controle da Poluição Sonora.** Rio de Janeiro, Brasil.
- British Standards Institution – BS 6841 – **Measurement and evaluation of human exposure to whole – body mechanical vibration.** London, 1987.
- British Standards Institution – BS 7085 – **Guide to safety aspects of experiments in which people are exposed to mechanical vibration and shock.** London, 1989.
- Chang, T., Liu, C., Huang, K., Chen, R., Lai, J., Bao, B. **High-frequency hearing loss, occupational noise exposure and hypertension: a cross-sectional study in male workers.** Journal of Environmental Health. v. 10, 8p. Janeiro. 2011.
- Clark, N., Dropkin, J., and Kaplan, L. 2001. Ready Mixed Concrete Truck Drivers: Work Related Hazards and Recommendations for Controls. Construction Hygiene and Ergonomics Program, USA, 27p.

Conto, J., Gerges, S., Gonçalves, C. G. O. **Hearing risk in motorcycle taxi drivers of a Southern Brazilian city.** CEFAC – Speech, Language, Hearing Sciences and Educational Journal. v.20, 7p. Janeiro. 2018.

Dornela, J. G. **Influência da Vibração de Corpo Inteiro e/ou Ruído na Audição de Indivíduos Sentados.** 2011. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2011.

Dupuis, H. e Zerlett, G. **The Effects of Whole-Body Vibration.** German: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1986.

European Council. Directive 2002/44/EC – **Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks rising from physical agents (vibration).** European Council. 2002.

Fundacentro, NHO 01. **Avaliação da Exposição Ocupacional a Ruído.** São Paulo: FUNDACENTRO, 2001.

Fundacentro, NHO 09. **Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro.** São Paulo: FUNDACENTRO, 2013.

Galvez, J. M. **Um Sistema de Controle em Malha Fechada para uma Bancada de Testes Experimentais dos Efeitos de Vibrações de Corpo Inteiro em Humanos.** In Proceedings of the 7th Congresso Boliviano de Engenharia Mecânica. Bolívia, 2012.

Girard, S. A., Leroux, T., Verreault, R., Courteau, M., Picard, M., Turcott, F., Baril, J., Richer, O. **Cardiovascular disease mortality among retired workers chronically exposed to intense occupational noise.** *International Archives of Occupational and Environment Health.* v. 88, 7p. Maio. 2014.

Gomes, H. M., Picoral Filho, J. G., Fedtto Neto, M., Quintas, J. P. R. **Case study on vibration health risk and comfort levels in loading crane trucks.** *The International Journal of Health Planning and Management.* v. 34, 16p. Abril. 2019.

Griffin, M. J. **Handbook of human vibration.** London: Academic Press. 1990.

Guardiano, J. A. S., Chagas, T. Z. e Junior, H. S. **Evaluation of hearing loss in bus drivers in Curitiba (Brazil).** CEFAC – Speech, Language, Hearing Sciences and Educational Journal. v.16, 4p. Fevereiro. 2016.

Instituto Gaúcho de Otorrinolaringologia: Exames – Audiometria Tonal, 2018. Disponível em: <<https://igors.com.br/fonoaudiologicos/>>. Acessado em: 01 Ago. 2021.

INST – Instituto Nacional de Saúde no Trabalho. **Caderno de Saúde do Trabalhador: Exposição a Ruído e como Previni-los.** Brasil: Kingraf – gráfica e editora, 2000.

ILO – International Labour Organization. **Noise and Vibration in the Working Environment.** International Labour Office, 1984.

ISO, International Organization for Standardization. ISO 2631 – **Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration.** International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. 1997.

ISO, International Organization for Standardization. ISO 9612 – **Determination of occupational noise exposure — Engineering method.** International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. 2009.

Jafari, M. J., Khosrowabadi, R. Khodakarim, S., Khodagholi, F., Mohamadian, F. **The effects of combined exposure to noise and heat on human salivary cortisol and blood pressure.**

International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. PMID: 31438779, 9p. Outubro. 2019.

Jamalizadeh, Z., Variani, A., Ahmadi, S., Asivandzadeh, E. **Association of Road Traffic Noise Exposure and Driving Behaviors. Journal of Human Environment and Health Promotion.** v. 4, 5p. Setembro. 2018.

Jonsson, M. G., Rynell, P. W., Hagberg, M., Johnson, P. W. **Comparison of whole-body vibration exposures in buses: effects and interactions of bus and seat design.** The Official Journal of the Chartered Institute of Ergonomics and Human Factors. DOI: 10.1080/00140139.2014.961568, 10p. 2014.

Ferreira Junior, M. **Perda Auditiva Induzida por Ruído: Bom Senso e Consenso.** São Paulo: VK, 1998.

Kelsey, J. L. **An Epidemiological Study of Acute Herniated Lumbar Intervertebral Discs.** Rheumatology and Rehabilitation. v. 14, 16p. Agosto. 1975.

Kelsey, J. L. and White III, A. A. **Epidemiology and impact of low-back pain.** Spine (Phila. Pa. 1976)., vol. 5, no. 2, 9p. Março. 1980.

D. G. Kleinbaum and M. Klein, **Logistic Regression: A Self-Learning Text.** Journal of the Royal Statistical Society. v. 167, 3p. 2004.

Kuang, D., Yu, Y. Y., Tu, C. **Bilateral high-frequency hearing loss is associated with elevated blood pressure and increased hypertension risk in occupational noise exposed workers.** Plos One. v.14, 9p. Setembro. 2019.

Kumar, S. **Vibration in Operating Heavy Haul Trucks in Overburden Mining.** Applied Ergonomics. v. 35, 11p. Junho. 2004.

Lee, J. e Kim, J. **Physical Agents and Occupational Disease Compensation: Noise, Vibration, Radiation, and Other Physical Agents.** Journal of Korean Medical Science. v. 29, 7p. Maio. 2014.

Lewis, C. A. e Johnson, P. W. **Whole-body vibration exposure in metropolitan bus drivers.** **Occupational Medicine.** v.62, 6p. Julho. 2012.

Li, X., Don, Q., Wang, B., Song, H., Wang, X., Zhu, B. **The Influence of Occupational Noise Exposure on Cardiovascular and Hearing Conditions among Industrial Workers.** Scientific Reports Nature Research. v. 9, 7p. Agosto. 2019.

Lida, I. **Ergonomia: Projeto e Produção.** São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

Lima, K. C. S. **Avaliação da Exposição ao Ruído Ocupacional em Policiais Militares do Motopatrulhamento.** 2015. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2015.

Lynas, D. e Burgess-Limerick, R. B. **Whole-Body Vibration Associated with Dozer Operation at an Australian Surface Coal Mine.** In Proceedings of Annals of Work Exposures and Health, Queensland, Australia. v. 63, Issue, 8. 8p. Outubro. 2019.

Mandal, B. B. and Mansfield N. J. **Contribution of individual components of a job cycle on overall severity of whole-body vibration exposure: a study in Indian mines.** **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics.** v. 22, 9p. Dezembro. 2015.

Massa, C. G. P., Rabelo, C. M., Moreira, R. R., Matas, C. G., Schochat, E., Samelli, A. G. **P300 in workers exposed to occupational noise.** **Brazilian Journal of Otorhinolaryngology.** v.78, 5p. Dezembro. 2012.

- Mansfield, N. J. **Human Response to Vibrations**. New York: CRC Press, 2005.
- Ministério da Saúde do Brasil, **Doenças relacionadas ao trabalho: Manual de procedimentos para os serviços de saúde**. Brasília: Editora MS, 2001.
- Mohany, A., Ciloglu, H., Alziadeh, M., Kishawy, H. **Assessment of the whole body vibration exposure and the dynamic seat comfort in passenger aircraft**. International Journal of Industrial Ergonomics. v. 45, 7p. Janeiro. 2015.
- Moore, H. F. **Desenvolvimento De Uma Bancada De Testes Experimentais Para Estudos Sobre Vibrações De Corpo Inteiro Em Assento Veicular**. 2017. 210 f. Dissertação (Mestrado em Integridade de Materiais da Engenharia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- Munzel, T., Gori, T., Babisch, W. Basner, M. **Cardiovascular effects of environmental noise exposure**. European Heart Journal. v. 35, 7p. Janeiro. 2014.
- Nunes, M. A. A. e Silva, R. C., 2015. **Whole Body Vibration Measurements in Intercity Bus Drivers: A Comparison Among of Different Roads of Central Region of Brazil**. In Proceedings of the 22th International Congress on Sound and Vibration. Florence, Italy. v. 3, Issue: 06, 4p. Junho. 2016.
- NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. NR-09 – **Programa de Prevenção de Riscos Ambientais**. 2017.
- NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. NR-15 – **Atividades e Operações Insalubres**. 2012.
- NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. NR-17 – **Ergonomia**. 2007.
- Nudelman, A. A., Costa, E. A., Seligman, J. Ibañez, R. N. **Pair: Perda Auditiva Induzida pelo Ruído**. Porto Alegre: Bagagem Comunicação, 1997.
- Okunribido, O. O., Magnusson, M., Pope, M. H. **Low back pain in drivers: The relative role of whole-body vibration, posture and manual materials handling**. Journal of Sound and Vibration. v.298, 15p. Dezembro. 2006.
- Organização Mundial da Saúde (OMS). **Environmental Burden of Disease Series, No. 9 – Occupational noise: assessing the burden of disease from work-related hearing impairment at national and local levels**. Geneva, World Health Organization, 2004.
- Organização Mundial da Saúde (OMS). **Burden of Disease from Environmental Noise**. Bonn: WHO e JRC. Disponível em: URL: <http://www.euro.who.int/data/assets/pdf/file/0008/136466/e94888>. 2011.
- Organização Mundial da Saúde (OMS). **Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control**. 1995. Disponível em: https://www.who.int/occupational_health/publications/occupnoise/en/. Acessado em 25 de Outubro de 2019.
- Organização Mundial da Saúde (OMS). Deafness prevention**. Disponível em: <https://www.who.int/deafness/en/>. Acessado em 25 de Outubro de 2019.
- Özkaya, N., Nordin, M., Goldsheyder, D., and Leger, D. **Fundamentals of Biomechanics: Equilibrium, Motion, and Deformation**, 3a. Springer, 2000.
- Peng, Y., Fan, C., Hu, L., Peng, S., Xie, P., Wu, F., Yi, S. **Tunnel driving occupational environment and hearing loss in train drivers in China**. Occupational and Environment Medicine. v.76, 8p. Novembro. 2018.

- Picoral Filho, J. G., Neto, M. F., Quintas, J. P. R., Gomes, H. M. **Case study on vibration health risk and comfort levels in loading crane trucks.** The International Journal Health Planning and Management. vol. 34, 16p. Abril. 2019.
- Punnett, L., Pruss-Utun, A., Nelson, D. I., Fingerhut, M. A., Leigh, J., and Phillips, S. **Estimating the Global Burden of Low Back Pain Attributable to Combined Occupational Exposures.** Am. J. Ind. Med., vol. 469, 10p. Novembro. 2005.
- Rodrigues, A. M. S. **O Cuidado com a Saúde Auditiva em Motoristas de Ônibus Urbano em uma Empresa de Transporte Coletivo no Rio de Janeiro.** 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Cuidado em Saúde) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2011.
- Roth, C. W. **Transmissibilidade da Vibração e Distribuição da Pressão na Interface Assento-Operador de Tratores Agrícolas em Condições Dinâmicas.** 2010. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.
- Santos, M. V. e Nunes, M. A. A. 2019. **The Effect Of Components In A Work Day On Whole-Body Vibration Exposure: The Study Of A School Bus Driver.** In Proceedings of the 25th International Congress of Mechanical Engineering. Uberlândia, Brasil. 2019.
- Silva, L. F. e Mendes, R. **Combined exposure to noise and vibration and its effects on worker's hearing.** Revista de Saúde Pública. v. 39, 8p. Janeiro. 2005.
- Silva, R. M. V., Lima, M. S., Costa, F. H., Silva, A. C. **Efeitos da quiropraxia em pacientes com cervicalgia: revisão sistemática.** Rev Dor., vol. 13, 4p. São Paulo. 2012.
- Schust, M., Kreisel, A., Seidel, H., Bluthner, R. **Examination of Frequency-weighting Curve for Accelerations Measured on the Seat and at the Surface Supporting the Feet during Horizontal Whole-body Vibrations in x- and y- Directions.** Industrial Health. v. 48, 17 p. Julho. 2010.
- Smets, M. P. H., Eger, T. R. e Grenier, S. G. **Whole-body vibration experienced by haulage truck operators in surface mining operations: A comparison of various analysis methods utilized in the prediction of health risks.** Applied Ergonomics. v. 41, 7p. Janeiro. 2010.
- Smith, A. P. Noise and Health: Why We Need More Research. In Proceedings of the 39th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. Lisboa, Portugal. 2010.
- Stayner, R. M. Whole-body vibration and shock: A literature review. United Kingdom: HSE Books, 2001.
- Tamrin, S. B. M., Yokoyama, K., Aziz, N., Maeda, S. **Association of Risk Factors with Musculoskeletal Disorders among Male Commercial Bus Drivers in Malaysia.** Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries. v. 24, 16p. Abril. 2012.
- Vallone, M., Bono, F., Quendler, E., Febo, P., Catania, P. **Risk exposure to vibration and noise in the use of agricultural track-laying tractors.** In Proceedings of Annals of Agricultural and Environmental Medicine. v.23, nº 4, 6p. Palermo, Itália. 2016.
- Wilkstrom, B., Kjllberg, A., Landstrom, U. **Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration: A review.** International Journal of Industrial Ergonomics. v. 14, 19p. Março. 1994.
- Zanatta, M. **Exposição Ocupacional à Vibração de Corpo Inteiro e Repercussões Sobre a Saúde de Pilotos Agrícolas.** 2017. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2017.

Zanol, E. J. **Avaliação dos Níveis de Vibração de Corpo Inteiro Sofridos por Motoristas de Ônibus Urbanos em Diferentes Tipos de Pista.** 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2014.

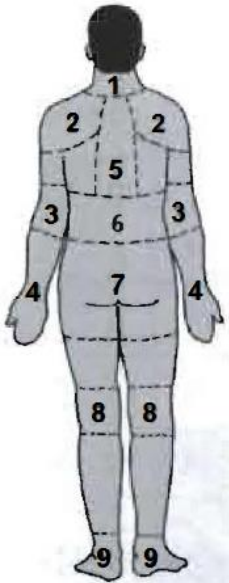
Zhou, F., Shrestha, A., Mai, S., Tao, Z., Li, J., Wang, Z., Meng, X. **Relationship between occupational noise exposure and hypertension: A cross-sectional study in steel factories.** American Journal of Industrial Medicine. v. 62, 8p. Agosto. 2019.

ANEXO A – QUESTIONÁRIO DE ANAMNESE EMPREGADO NO ESTUDO

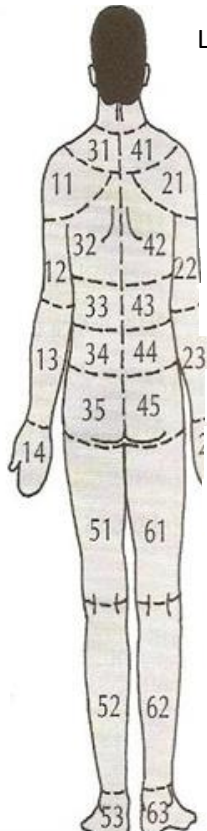
Questionário Para Caracterização de Amostra de Estudo			
01 – Qual o seu nome? (Opcional)			
02 - Qual a sua idade?			
03 - Qual a sua altura?			
04 - Qual o seu peso?			
05 - Qual seu estado civil?			
<input type="checkbox"/> Casado	<input type="checkbox"/> Solteiro	<input type="checkbox"/> Divorciado	
06 - Qual sua escolaridade?			
<input type="checkbox"/> Fundamental Incompleto	<input type="checkbox"/> Fundamental Completo	<input type="checkbox"/> Médio Incompleto	<input type="checkbox"/> Médio Completo
07 - Possui prática de atividade física?			
<input type="checkbox"/> Uma vez na semana	<input type="checkbox"/> Duas vezes na semana	<input type="checkbox"/> Três vezes na semana	<input type="checkbox"/> Não pratico atividade física
08 - Possui hábito de fumar?			
<input type="checkbox"/> Ex-fumante	<input type="checkbox"/> Não fumante	<input type="checkbox"/> Possui hábito de fumar	
09 - Possui hábito de ingerir bebida alcoólica?			
<input type="checkbox"/> Uma vez na semana	<input type="checkbox"/> Duas vezes na semana	<input type="checkbox"/> Três vezes na semana	<input type="checkbox"/> Não ingiro bebida alcoólica
10 - Quantas horas você dirige ao dia?			
<input type="checkbox"/> 01 – 04 horas	<input type="checkbox"/> 04 – 08 horas	<input type="checkbox"/> mais que 08 horas	
11 – Há quantos anos atua como motorista profissional?			
<input type="checkbox"/> 01 – 05 anos	<input type="checkbox"/> 05 – 10 anos	<input type="checkbox"/> 10 – 15 anos	<input type="checkbox"/> mais que 15 anos
12 – Qual o volume do caminhão que você opera?			
<input type="checkbox"/> 08 m ³		<input type="checkbox"/> 10 m ³	
13 – Como você descreve a manutenção do caminhão que você opera?			
<input type="checkbox"/> Boa	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Ruim	
14 – Você possui horários de intervalo durante a jornada de trabalho?			
<input type="checkbox"/> Frequentemente	<input type="checkbox"/> As vezes	<input type="checkbox"/> Raramente	<input type="checkbox"/> Nunca
15 – No geral, como você descreve a qualidade da superfície da pista no DF?			
<input type="checkbox"/> Boa	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Ruim	
16 – Como você descreve a satisfação com o seu emprego?			
<input type="checkbox"/> Muito Satisfeito	<input type="checkbox"/> Satisfeito	<input type="checkbox"/> Insatisfeito	<input type="checkbox"/> Muito Insatisfeito
17 – Você exerce esforço físico com os membros superiores ao dirigir?			
<input type="checkbox"/> Sim		<input type="checkbox"/> Não	
18 – Você exerce esforço físico fora do caminhão durante a jornada de trabalho?			
<input type="checkbox"/> sim		<input type="checkbox"/> Não	
19 – Qual a postura que você adota ao dirigir?			
<input type="checkbox"/> Ereta		<input type="checkbox"/> Curvada	
20 – Você sente dificuldade de se comunicar dentro do caminhão?			
<input type="checkbox"/> Sim		<input type="checkbox"/> Não	
21 – Você sente zumbidos no ouvido no final do expediente?			
<input type="checkbox"/> Sempre	<input type="checkbox"/> Regularmente	<input type="checkbox"/> Nunca	
23 – Você faz uso de medicamentos para dor muscular?			
<input type="checkbox"/> Sim		<input type="checkbox"/> Não	
24 – Já visitou algum fisioterapeuta por problemas relacionados ao trabalho?			
<input type="checkbox"/> Sim		<input type="checkbox"/> Não	

Há alguma observação que queira fazer quanto ao ruído ou vibração em seu ambiente de trabalho?

Relacionando as partes do corpo ao desenho abaixo, responda o questionário a seguir:

Questionário Músculo-esquelético				
				
Partes do corpo	Você teve algum problema nos últimos 12 meses?		Você teve que deixar de trabalhar algum dia nos últimos 12 meses devido ao problema?	
1 – Pescoço	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
2- Ombros	<input type="checkbox"/> Não		<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
	<input type="checkbox"/> Sim – ombro direito			
	<input type="checkbox"/> Sim – ombro esquerdo			
	<input type="checkbox"/> Sim – os dois ombros			
3 – Cotovelos	<input type="checkbox"/> Não		<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
	<input type="checkbox"/> Sim – cotovelo direito			
	<input type="checkbox"/> Sim – cotovelo esquerdo			
	<input type="checkbox"/> Sim – os dois cotovelos			
4 – Punhos e mãos	<input type="checkbox"/> Não		<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
	<input type="checkbox"/> Sim – punho/mão direita			
	<input type="checkbox"/> Sim – punho/mão esquerda			
	<input type="checkbox"/> Sim – os dois punhos			
5 – Coluna dorsal	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
6 – Coluna lombar	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
7 – Quadril ou coxas	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
8 – Joelhos	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
9 – Tornozelo ou pés	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não

Marque com um X seu grau de desconforto nos últimos 07 dias quanto as partes do corpo representada pelo desenho. O grau 0 representa sem nenhum tipo de desconforto e o grau 7 representa extremo desconforto.

Grau de desconforto - Dorsal																	
Visão Dorsal																	
Lado Esquerdo								Lado Direito									
Ombro - 11									21 – Ombro								
Braço - 12									22 – Braço								
Ante braço - 13									23 – Antebraço								
Mão - 14									24 – Mão								
Pescoço - 31									41 - Pescoço								
Dorso superior - 32									42 – Dorso Superior								
Dorso médio - 33									43 – Dorso Médio								
Dorso inferior - 34									44 – Dorso Inferior								
Quadril - 35									45 – Quadril								
Coxa - 51									61 – Coxa								
Perna - 52									62 – Perna								
Pé - 53									63 – Pé								
Parte do Corpo	Lado Esquerdo								Lado Direito								
(11/21)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	
(12/22)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	
(13/23)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	
(14/24)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	
(31/41)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	
(32/42)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	
(33/43)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	
(34/44)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	
(35/45)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	
(51/61)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	
(52/62)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	
(53/63)	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Convidamos o senhor a participar voluntariamente do projeto de pesquisa: Avaliação da Exposição Combinada Entre Ruído e Vibração em Motoristas de Caminhões Betoneira, sob a responsabilidade do pesquisador Marcos Vinicius Santos. O projeto tem como proposta quantificar e comparar a exposição a ruído contínuo e vibração de corpo inteiro em motoristas de caminhões betoneira, em um dia de trabalho, com os valores predefinidos indicados pelas normas vigentes.

O objetivo desta pesquisa é: Quantificar a exposição de motoristas de caminhões betoneira à vibração de corpo-inteiro e ao ruído, e analisar os possíveis fatores, como: dados antropométricos, ergonomia, carga do veículo, entre outros, que contribuem para níveis elevados destes dois agentes de risco. O senhor receberá todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer da pesquisa e lhe asseguramos que seu nome não aparecerá sendo mantido o mais rigoroso sigilo pela omissão total de quaisquer informações que permitam identificá-lo.

Inicialmente, a sua participação se dará por meio de um questionário com perguntas subjetivas com duração de 5 a 10 minutos. Tais perguntas abrangem características ergonômicas e histórico de saúde, para uma melhor caracterização do estudo. Após a aplicação do questionário, será realizada a coleta de dados provenientes de um acelerômetro. Acelerômetro é o aparelho que será acoplado no acento do caminhão betoneira, de modo que não haja incomodo ou que não altere sua rotina diária de trabalho. A coleta de dados é estimada em 8 horas, período correspondente a uma jornada de trabalho diária.

Os riscos decorrentes de sua participação na pesquisa são os de invasão de privacidade e estigmatização de informações. Para combater esse tipo de situação o pesquisador estará atento aos sinais verbais e não verbais de desconforto e assegurará a confidencialidade e a privacidade, garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas. Se o senhor aceitar participar, estará contribuindo para análises de como a saúde do trabalhador pode estar sendo afetada por suas condições de trabalho.

O Senhor pode se recusar a responder (ou participar de qualquer procedimento) qualquer questão que lhe traga constrangimento, podendo desistir de participar da pesquisa em qualquer momento sem nenhum prejuízo para o senhor. Sua participação é voluntária, isto é, não há pagamento por sua colaboração.

Todas as despesas que o senhor tiver relacionadas diretamente ao projeto de pesquisa (tais como, passagem para o local da pesquisa, alimentação no local da pesquisa ou exames para realização da pesquisa) serão cobertas pelo pesquisador responsável.

Caso haja algum dano direto ou indireto decorrente de sua participação na pesquisa, o senhor deverá buscar ser indenizado, obedecendo-se as disposições legais vigentes no Brasil.

Os resultados da pesquisa serão divulgados na Universidade de Brasília podendo ser publicados posteriormente. Os dados e materiais serão utilizados somente para esta pesquisa e ficarão sob a guarda do pesquisador por um período de cinco anos, após isso serão destruídos.

Se o Senhor tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, por favor telefone para: Marcos Vinicius Santos, da Universidade de Brasília no telefone (61) 98304-5812 disponível inclusive para ligação a cobrar, ou pelo e-mail: marcosv3m@hotmail.com

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde (CEP/FS) da Universidade de Brasília. O CEP é composto por profissionais de diferentes áreas cuja função é defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. As dúvidas com relação à assinatura do TCLE ou os direitos do participante da pesquisa podem ser esclarecidos pelo telefone (61) 3107-1947 ou do e-mail cepfs@unb.br ou cepfsunb@gmail.com, horário de atendimento de 10:00hs às 12:00hs e de 13:30hs às 15:30hs, de segunda a sexta-feira. O CEP/FS se localiza na Faculdade de Ciências da Saúde, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, Asa Norte.

Ciente dos termos acima descrito, o senhor(a) aceita participar da pesquisa?

APÊNDICE B – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE IMAGEM E SOM

Eu, _____, autorizo a utilização da minha imagem e som de voz, na qualidade de participante de pesquisa do projeto de pesquisa intitulado Avaliação da Exposição Combinada Entre Ruído e Vibração em Motoristas de Caminhões Betoneira, sob responsabilidade de Marcos Vinicius Santos, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Integridade de Materiais da Engenharia da Universidade de Brasília.

As possíveis obtenções de imagem e som referentes ao estudo serão adquiridas no momento de aquisição de dados no veículo, preservando, portanto, a face do participante. Tais imagens e som de voz podem vir a ser utilizadas como ilustração do procedimento adotado para fins de documentação da pesquisa. Todos os participantes terão suas identidades ocultadas, não sendo possível a associação de participantes a resultados obtidos, visando a proteção a integridade dos mesmos.

Tenho ciência de que não haverá divulgação da minha imagem e/ou som de voz por qualquer meio de comunicação, sejam elas televisão, rádio ou internet, exceto nas atividades vinculadas ao ensino e a pesquisa explicitadas acima. Tenho ciência também de que a guarda e demais procedimentos de segurança com relação às imagens e ao som de voz são de responsabilidade do pesquisador responsável.

Deste modo, declaro que autorizo, livre e espontaneamente, o uso para fins de pesquisa, nos termos acima descritos, da minha imagem e som de voz.

APÊNDICE C – INFORMAÇÕES REUNIDAS A RESPEITO DOS CAMINHÕES

Motorista/caminhão	Volume máx. do caminhão	Ano de fabricação	Modelo do caminhão
1	8	1998/1999	Volvo NL 320 6x4
2	8	1998/1999	Volvo NL 320 6x4
3	10	2001	Scania P 124 6x4 NZ
4	8	2001	M.Benz 2726B/36 6x4
5	8	2009	Ford/Cargo 2628 6x4
6	10	2011	Ford/Cargo 2628 6x4
7	10	2011	Ford/Cargo 2628 6x4
8	8	2011	Ford/Cargo 2628 6x4
9	10	2011	Ford/Cargo 2628 6x4
10	10	2011	Ford/Cargo 2629 6x4
11	10	2011	Ford/Cargo 2629 6x4
12	10	2011	Ford/Cargo 2629 6x4
13	10	2012	Ford/Cargo 2629 6x4
14	10	2012	Ford/Cargo 2629 6x4
15	10	2012	Ford/Cargo 2629 6x4
16	10	2012	Ford/Cargo 2629 6x4
17	10	2012	Ford/Cargo 2629 6x4
18	10	2012	Ford/Cargo 2629 6x4
19	10	2012/2013	Ford/Cargo 2629 6x4
20	10	2012/2013	Ford/Cargo 2629 6x4
21	10	2012/2013	Ford/Cargo 2629 6x4
22	10	2012/2013	Ford/Cargo 2629 6x4
23	10	2012/2013	Ford/Cargo 2629 6x4
24	10	2012/2013	Ford/Cargo 2629 6x4
25	8	2014	VW 26-280 8x4 Const.
26	8	2018	Ford/Cargo 2629 6x4
27	8	2018	Ford/Cargo 2629 6x4
28	8	2018	Ford/Cargo 2629 6x4

APÊNDICE D – ENTREGAS REALIZADAS

Motorista/caminhão	Tempo de Exp. total (min)	Volume transportado (m ³)	Quantidade de entregas
1	117:51	3	1
2	134:16	14,5	2
3	135:36	14	2
4	154:02	14	2
5	44:56	8	1
6	148:08	17	1
7	103:09	16	2
8	104:27	17	5
9	71:29	10	3
10	105:23	16	3
11	161:50	24	6
12	133:32	27	3
13	134:51	38	3
14	131:56	18	5
15	133:44	25	4
16	266:56	31	3
17	112:10	22,5	3
18	167:21	17	4
19	130:52	38	4
20	103:00	28	4
21	176:13	26,5	5
22	208:22	30	4
23	126:18	24,5	3
24	167:24	28	3
25	67:17	21	3
26	66:49	8	1
27	112:02	22	3
28	127:15	12,5	2

APÊNDICE E – COMPONENTES DE EXPOSIÇÃO

Nº	Temp. Exposição (min)	Volume (m ³)	Num. Componentes	Distância (Km)	Aren (m/s ²)	VDVR (m/s ^{1,75})
1	117:51	3	3	86,8	0,31	14,47
2	134:16	14,5	4	82,6	0,25	15,60
3	135:36	14	4	104,1	0,35	17,59
4	154:02	14	5	73,4	0,32	14,35
5	44:56	8	2	23,2	0,10	11,87
6	148:08	17	4	63,7	0,26	11,89
7	103:09	16	4	83,3	0,20	10,77
8	104:27	17	4	63,5	0,21	12,89
9	71:29	10	4	32	0,16	14,34
10	105:23	16	4	74,2	0,19	10,44
11	322:33	44	12	169,1	0,51	10,43
12	265:26	26,5	7	163	0,56	16,75
13	156:35	24	6	112,3	0,26	11,69
14	272:05	51	12	187,7	0,41	10,89
15	133:44	25	6	108,3	0,24	17,04
16	361:03	42	10	182,8	0,63	16,05
17	224:08	38	8	142	0,36	14,15
18	206:58	33	9	146	0,31	10,89
19	222:13	34	8	147,2	0,41	13,97
20	197:06	29,5	9	108,1	0,35	12,96
21	281:06	35,5	8	181,6	0,47	13,74
22	297:21	44	10	178,4	0,51	14,59
23	251:48	28,5	9	147,8	0,39	15,77
24	167:24	28	8	87,1	0,25	11,52
25	170:01	22	7	119,1	0,38	14,95
26	66:49	8	2	37,9	0,13	9,25
27	112:02	22	6	76,7	0,24	10,82
28	127:15	12,5	4	84,9	0,27	12,09

APÊNDICE F – VALORES DE EIXO DE EXPOSIÇÃO

Amostras	A _v			VDV		
	av _x	av _y	av _z	VDV _x	VDV _y	VDV _z
1	0,60	1,0	1,52	4,99	8,48	13,75
2	0,57	0,67	1,58	4,74	5,13	15,49
3	0,66	0,67	2,15	4,81	5,25	17,51
4	0,52	0,59	2,02	3,91	4,06	14,29
5	0,33	0,40	1,4	3,05	3,74	11,81
6	0,43	0,48	1,41	3,82	3,8	11,8
7	0,43	0,58	1,43	3,19	4,17	10,66
8	0,62	0,62	1,54	4,64	4,99	12,70
9	0,64	0,68	1,21	4,79	4,53	14,22
10	0,41	0,55	1,42	3,02	4,5	10,28
11	0,74	1,06	1,83	4,08	6,03	9,89
12	0,62	0,87	2,17	4,28	5,78	16,64
13	0,53	0,77	1,47	3,76	5,11	11,5
14	0,67	1,02	1,9	3,76	5,27	10,62
15	0,58	0,68	1,67	4,19	4,15	16,99
16	0,8	0,86	2,19	5,39	5,66	15,89
17	0,60	0,88	1,57	3,93	5,42	14,01
18	0,73	1,12	1,53	4,22	5,88	10,45
19	0,68	0,90	1,67	4,41	5,83	13,77
20	0,64	1,02	1,92	4,26	6,05	12,68
21	0,55	0,84	1,85	3,83	5,51	13,59
22	0,83	0,98	2,05	4,98	5,75	14,39
23	0,71	0,96	1,65	4,55	5,65	15,64
24	0,62	0,86	1,65	3,93	5,03	11,32
25	0,88	0,87	2,31	5,80	5,51	14,73
26	0,38	0,49	1,04	4,03	4,4	8,95
27	0,69	1,05	1,87	4,16	6,42	10,22
28	0,65	0,71	1,63	4,72	5,27	11,83