



**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO DE  
CORPO INTEIRO EM MOTORISTAS DE  
ÔNIBUS URBANO DO DISTRITO FEDERAL**

Por,

**Larissa Saboia da Rocha**

Brasília, 12 de julho de 2019

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica

## PROJETO DE GRADUAÇÃO

# AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO EM MOTORISTAS DE ÔNIBUS URBANO DO DISTRITO FEDERAL

Por,

**Larissa Saboia da Rocha**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Mecânico

### **Banca Examinadora**

Profa. Maria Alzira de Araújo Nunes, UnB/FGA  
(Orientadora)

---

Profa. Aline Souza de Paula, UnB/ENM  
(Co-orientadora)

---

Prof. André Murilo de Almeida Pinto, UnB/FGA

---

Profa. Suzana Moreira Ávila, UnB/FGA

---

Brasília, 12 de julho de 2019.

# Agradecimentos

Primeiramente, a Deus. Por ter sido o meu sustento e minha força durante o tempo que passei na Universidade de Brasília, por ter me abençoado a cada dia e por me capacitar a chegar aos lugares que sonhei. Sem ele, eu nada seria.

Aos meus pais, por terem abdicado de seus projetos para garantir o melhor para mim, por incentivarem meus estudos e por me mostrarem o quanto sou capaz. Aos meus irmãos e ao meu avô, Francisco, por acreditarem no meu potencial, por me acolherem nos momentos ruins e por compreenderem minhas ausências. Não há gratidão que pague tamanho amor.

Ao meu namorado, por sempre me oferecer estímulos a continuar, por me consolar nos momentos em que pensei que não seria possível chegar aqui, por compreender as minhas ausências e por ter sido o melhor presente que essa universidade me deu.

Aos meus amigos de graduação, por compartilharem seus conhecimentos comigo, por dividirem as madrugadas de estudo na biblioteca e por tornarem o caminho até aqui mais leve.

À Profa. Dra. Maria Alzira, pela sua orientação, apoio e pronta disponibilidade para esclarecer as dúvidas que surgiram no decorrer deste trabalho.

À Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU) e a empresa co-participante, sem os quais a realização do presente trabalho não seria possível.

# Resumo

Motoristas de ônibus estão expostos à vibração de corpo inteiro (VCI) durante a sua jornada de trabalho. A vibração é um agente físico capaz de desencadear sérios riscos à saúde, e quando em exposição excessiva, é comumente associada à dores lombares. O presente estudo tem como objetivo mensurar e analisar os níveis de VCI em motoristas do transporte urbano do Distrito Federal, em situações reais de trabalho, tomando como base a norma ISO-2631 e a Norma de Higiene Ocupacional–NHO 09. O estudo envolveu 30 condutores e 7 percursos operados pela empresa co-participante em veículos básicos. Foi realizada a elaboração e aplicação de um questionário de anamnese visando a caracterização qualitativa dos motoristas quanto à sua saúde e suas percepções relacionadas aos estímulos vibratórios presentes em ambiente laboral. O conjunto HVM (*Human Vibration Measurement*) 100 e *Seat Pad* foi utilizado para a realização das medições experimentais. Os valores médios de aceleração resultante de exposição parcial (*arep*) por rota se mostraram boas estimativas para a aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*), auxiliando na previsão de situações de insalubridade. Independente da rota estudada, os motoristas nos quais se aferiram os menores valores de percentual de gordura corpórea foram aqueles onde se obtiveram os maiores valores de *arep* medidos. O estudo preliminar com relação a massa suspensa do veículo diretamente ligada a quantidade de passageiros transportados mostra que quanto maior o número de indivíduos, maior é a aceleração à que o motorista é submetido.

**Palavras-chaves:** Vibração de Corpo Inteiro. Motoristas. Ônibus urbanos.

# Abstract

Bus drivers are exposed to whole body vibration (WBV) during their workday. Vibration is a physical agent capable of unleashing serious health risks, and when overexposed, is commonly associated with low back pain. The present study aims to measure and analyze VCI levels in urban transport drivers of the Federal District, in real working situations, based on the ISO-2631 and Occupational Hygiene Standard-NHO 09. The study involved 30 drivers and 7 routes operated by the co-participant company in basic vehicles. The elaboration and application of an anamnesis questionnaire was carried out aiming at the qualitative characterization of drivers regarding their health and their perceptions related to the vibratory stimuli present in their workplace. The set HVM (Human Vibration Measurement) 100 and Seat Pad was used to perform the experimental measurements. The mean acceleration values resulting from partial exposure (*arep*) per route were good estimates for the resulting acceleration of normalized exposure (*aren*), helping to predict unhealthy situations. Regardless of the route studied, the drivers in whom the lowest values of body fat percentage were measured were those where the highest values of *arep* measured were obtained. The preliminary study on the suspended mass of the vehicle directly connected to the number of passengers transported shows that the greater the number of individuals, the greater the acceleration to which the driver is subjected.

**Key-words:** Whole Body Vibration. Drivers. Urban buses .

# Lista de Figuras

Figura 1 – Regiões de transmissão da vibração ao corpo humano . . . . .	3
Figura 2 – Regiões afetadas pela má postura do motorista . . . . .	4
Figura 3 – Fluxograma do trabalho . . . . .	7
Figura 4 – Vibrações no segmento mãos e braços . . . . .	10
Figura 5 – Sistema de coordenadas utilizado em vibrações mecânicas no ser humano	11
Figura 6 – Representação dos ajustes comuns permitidos em assentos de motoristas	16
Figura 7 – Multidisciplinariedade dos estudos da resposta humana à vibração . . .	19
Figura 8 – Frequência de ressonância das regiões do corpo humano . . . . .	20
Figura 9 – Faixas de frequências e magnitudes típicas por tipo de vibração . . . .	21
Figura 10 – Zonas de vigilância e orientação no que se refere à saúde . . . . .	26
Figura 11 – Curvas de ponderação em frequência para vibração transmitida ao corpo inteiro . . . . .	28
Figura 12 – Critérios de julgamento e tomada de decisão . . . . .	33
Figura 13 – Questionário de anamnese. . . . .	38
Figura 14 – Monitor de gordura corporal . . . . .	39
Figura 15 – Medição do percentual de gordura . . . . .	40
Figura 16 – Aparato de medição . . . . .	41
Figura 17 – Conexão do <i>Seat Pad</i> e do HVM. . . . .	42
Figura 18 – Fixação do <i>Seat Pad</i> . . . . .	43
Figura 19 – Procedimento experimental . . . . .	44
Figura 20 – Interface do <i>software</i> Blaze®. . . . .	44
Figura 21 – Veículo estudado . . . . .	45
Figura 22 – Mapa referente a rota A . . . . .	46
Figura 23 – Mapa referente a rota B . . . . .	47
Figura 24 – Mapa referente a rota C . . . . .	47
Figura 25 – Mapa referente a rota D . . . . .	48
Figura 26 – Mapa referente a rota E . . . . .	48
Figura 27 – Mapa referente a rota F . . . . .	49
Figura 28 – Mapa referente a rota G . . . . .	49
Figura 29 – Faixa etária dos motoristas . . . . .	53

Figura 30 – Índice de Massa Corporal . . . . .	54
Figura 31 – Sensação de incomodo devido à vibração . . . . .	56
Figura 32 – Percepção de estresse durante a jornada de trabalho . . . . .	56
Figura 33 – Incomodo devido à VCI e VMB . . . . .	57
Figura 34 – Valores de $W_{n;\alpha}$ . . . . .	58
Figura 35 – Interface past . . . . .	59
Figura 36 – Resultado do teste de normalidade . . . . .	59
Figura 37 – Histograma . . . . .	59
Figura 38 – Análise geral de rotas . . . . .	63
Figura 39 – Análise do percentual de gordura (Rota A) . . . . .	68
Figura 40 – Análise do IMC (Rota A) . . . . .	69
Figura 41 – Análise do percentual de gordura (Rota B) . . . . .	69
Figura 42 – Análise do IMC (Rota B) . . . . .	70
Figura 43 – Análise do percentual de gordura (Rota C) . . . . .	71
Figura 44 – Análise do IMC (Rota C) . . . . .	71
Figura 45 – Análise do percentual de gordura (Rota D) . . . . .	72
Figura 46 – Análise do IMC (Rota D) . . . . .	72
Figura 47 – Análise do percentual de gordura (Rota E) . . . . .	73
Figura 48 – Análise do IMC (Rota E) . . . . .	74
Figura 49 – Análise do IMC (Rota F) . . . . .	74
Figura 50 – Análise do percentual de gordura (Rota G) . . . . .	75
Figura 51 – Análise do IMC (Rota G) . . . . .	75

# Lista de Tabelas

Tabela 1 – Sensibilidade do acelerômetro por eixo. . . . .	42
Tabela 2 – Descrição resumida das rotas selecionadas. . . . .	49
Tabela 3 – Planilha de planejamento experimental . . . . .	51
Tabela 4 – Classificação de IMC . . . . .	54
Tabela 5 – Experimentos usados na análise geral das rotas . . . . .	61
Tabela 6 – Experimentos para análise comparativa entre o valor médio e o mensurado. . . . .	65
Tabela 7 – Análise comparativa entre o valor médio e o mensurado. . . . .	66
Tabela 8 – Resumo dos resultados obtidos para análise de percentual de gordura e IMC . . . . .	76
Tabela 9 – Experimentos utilizados na análise da influência da massa suspensa. . . . .	77
Tabela 10 – Análise da influência da massa suspensa . . . . .	77
Tabela 11 – Variáveis para cálculo da <i>aren</i> . . . . .	78
Tabela 12 – Variáveis para cálculo do VDVR. . . . .	79
Tabela 13 – Valores de <i>aren</i> e VDVR . . . . .	80
Tabela 14 – Consideração técnica e atuação recomendada pela NHO 09. . . . .	80

# Lista de abreviaturas e siglas

BIA	Impedância bioelétrica
CANPAT	Campanha Nacional de Prevenção de Acidentes de Trabalho
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CEREST	Centro de Referência em Saúde do Trabalhador
CONEP	Comissão Nacional de Ética em Pesquisa
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
EPGU	Estrada Parque Guará
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPIA	Estrada Parque Indústria e Abastecimento
EPNB	Estrada Parque Núcleo Bandeirante
EPTG	Estrada Parque Taguatinga
FDTE	Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia
HVM	<i>Human Vibration Measurement</i>
IMC	Índice de Massa Corporal
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NR	Norma Regulamentadora
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
OMS	Organização Mundial da Saúde
PBT	Peso Bruto Total
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

RMS	<i>Root Medium Square</i>
SAAN	Setor de Armazenagem e Abastecimento Norte
TLC	Teorema do Limite Central
VCI	Vibração de Corpo Inteiro
VMB	Vibrações de Mãos e Braços

# Lista de símbolos

cm	Centímetros
dB	Decibéis
$\sigma$	Desvio padrão
g	Gramas
Kg	Quilogramas
Km	Quilômetros
m	Metros
min	Minutos
$\mu$	Valor médio
V	Volts

# Sumário

	<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>Motivação</b>	<b>4</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>5</b>
1.3.1	Objetivos específicos	6
<b>1.4</b>	<b>Metodologia</b>	<b>6</b>
<b>1.5</b>	<b>Organização do trabalho</b>	<b>8</b>
	<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>9</b>
	<b>3 VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO: TEORIA E NORMATIVA</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Teoria de Vibração do Corpo Humano</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Normativas</b>	<b>22</b>
3.2.1	ISO 2631 - 1	22
3.2.2	Normas de Higiene Ocupacional	27
3.2.2.1	NHO 09	27
3.2.3	Normas regulamentadoras	34
3.2.3.1	NR 9	34
3.2.3.2	NR 15	35
	<b>4 METODOLOGIA</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Questionário de Anamnese</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Amostragem</b>	<b>38</b>
<b>4.3</b>	<b>Equipamentos utilizados</b>	<b>39</b>
4.3.1	Percentual de gordura corporal	39
4.3.2	Vibração de Corpo Inteiro	40
<b>4.4</b>	<b>Planejamento Experimental</b>	<b>45</b>
4.4.1	Descrição do veículo	45
4.4.2	Rotas selecionadas	45
4.4.3	Planilha de planejamento experimental	50

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>Resultados do questionário de anamnese</b>	<b>53</b>
<b>5.2</b>	<b>Teste de normalidade</b>	<b>57</b>
<b>5.3</b>	<b>Resultados das medições experimentais</b>	<b>60</b>
5.3.1	Análise da influência das rotas	60
5.3.2	Análise do percentual de gordura e IMC dos motoristas	67
5.3.3	Análise da influência da massa suspensa	76
5.3.4	Determinação da exposição à VCI durante a jornada de trabalho	77
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>82</b>
<b>6.1</b>	<b>Conclusão</b>	<b>82</b>
<b>6.2</b>	<b>Trabalhos futuros</b>	<b>84</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>85</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Embora possua dimensões continentais, o Brasil é um país essencialmente rodoviário. De acordo com dados do Banco Mundial (MESQUITA, 2018), 58% do transporte no país é feito pela malha rodoviária, deixando para trás países como Austrália (53%), China (50%), Rússia (43%) e Canadá (8%). A atual conjuntura rodoviária reflete as sucessivas tomadas de decisão na história da nação.

Em meio a produção de café, a utilização do transporte ferroviário era intensa, porém este era destinado muito mais ao escoamento da produção do que ao transporte de passageiros. Com a crise do café em 1930, as ferrovias começaram a entrar em desuso. Anos à frente, o governo de Juscelino Kubistchek, com o slogan “50 anos em 5”, a implantação da indústria automobilística e o projeto de transferência da capital do país para Brasília, acelerou o processo de interligação do país com uma rede de transporte alicerçada nas rodovias. Fato esse justificado pelo investimento inicial reduzido se comparado com outras matrizes modais e também pelo dispêndio de um menor espaço de tempo para construção da infraestrutura necessária.

A queda na demanda de mão de obra na zona rural brasileira, associada a mecanização do campo e a busca por serviços básicos como saúde e educação levou a uma rápida e forçada urbanização do país. A partir de 1970, como aponta o Censo Demográfico (IBGE, 2010), o Brasil tornou-se um país com a maioria absoluta da população ocupando a zona urbana, porém sem a infraestrutura necessária para subsidiar tal transformação. Os grandes centros urbanos tornaram-se cada vez mais adensados e a população sofre com a periferização.

À vista disso, grandes deslocamentos diários são necessários para transportar os trabalhadores de sua moradia até seus locais de trabalho. Os modais de grande capacidade como trilhos e *Bus Rapid Transit* (BRT) fazem os deslocamentos troncais e os ônibus urbanos destacam-se por sua importância na chamada última milha. A capilaridade dos ônibus urbanos, sua capacidade de adaptação às modificações das vias urbanas e sua competência na realização de viagens em locais mais afastados dos grandes centros urbanos, tornam esse modal uma peça chave na mobilidade urbana (BAZANI, 2011).

De acordo com o Anuário do Transporte (CNT, 2018), a frota do sistema de ônibus urbano do Brasil em agosto de 2018 correspondia a 107.000 veículos e em 2017, 303 milhões de passageiros foram transportados por mês nas capitais: Belo Horizonte - MG, Curitiba - PR, Fortaleza - CE, Goiânia - GO, Porto Alegre - RS, Recife - PE, Rio de Janeiro - RJ, Salvador - BA e São Paulo - SP.

A concentração de oportunidades de empregos e serviços no centro da capital do país culmina na realização de movimentos pendulares, ou seja, idas e vindas de um determinado local. Desse modo, a grande maioria dos trabalhadores realizam no mínimo dois embarques por dia, e em determinadas ocasiões ainda são necessários mais embarques.

A princípio, o modelo do transporte público no Distrito Federal foi idealizado como um sistema tronco-alimentado, que permitiria integração tarifária com validade temporal de duas horas. As linhas alimentadoras conectariam os bairros e vias de menor capacidade a um conjunto de linhas troncais, que funcionariam como corredores estruturais do sistema. E embora a integração tarifária já esteja em vigor no centro do país, e com validade temporal até superior em número de horas, a realidade atual ainda retrata linhas com grande quilometragem atendendo viagens locais e interligando as regiões administrativas ao Plano Piloto.

O sistema de transporte público do Distrito Federal possui uma frota de 2.816 veículos (DFTRANS, 2018) entre empresa pública, concessionárias e cooperativas. Nos meses de janeiro a junho de 2018, a demanda transportada foi superior a 150 milhões de passageiros.

Uma parcela essencial de trabalhadores que garante o funcionamento do sistema de transporte público são os motoristas. Estes estão expostos à uma série de riscos à sua saúde física e emocional, em seu ambiente de trabalho (FERREIRA; SCARPIM, 2015; ALPEROVITCH-NAJENSON et al., 2010). Inúmeros estudos de diferentes áreas buscam investigar a existência de umnexo causal entre as condições de trabalho e as doenças crônicas apresentadas por esses trabalhadores (KELSEY; HARDY, 1975; HULSHOF, 1986; LEWIS; JOHNSON, 2012; FIGUEIREDO; SILVA; BARNABÉ, 2016).

As condições do trânsito brasileiro, cada dia mais congestionado com o aumento do número de veículos nas vias, associado ao contato com os passageiros tornam o trabalho dessas classes estressante e vinculado à elevados níveis de fadiga e irritabilidade. A pesquisa intitulada de Perfil dos motoristas de ônibus urbanos (CNT, 2017) alerta que 57% dos entrevistados consideram que o principal ponto negativo da profissão é o fato desta ser desgastante, estressante e fisicamente cansativa.

O segundo ponto a ser destacado como negativo para os profissionais nessa mesma pesquisa está relacionado ao perigo atrelado à profissão. Além dos riscos de acidentes inerentes à toda atividade de condução de veículos, não somente os motoristas, mas também os cobradores e passageiros do transporte coletivo por ônibus estão vulneráveis a violência. Assaltos e furtos são cotidianamente anunciados nos principais noticiários do país e o

uso dos coletivos para reivindicações de diversas causas acaba por resultar no vandalismo destes, muitas vezes com os profissionais ainda dentro do veículo.

Uma outra questão atrelada à profissão é a exposição ao ruído. Esta é possível causa da surdez ocupacional relatada por motoristas e cobradores, especialmente aqueles que trabalham em ônibus que possuem motor dianteiro (FREITAS; NAKAMURA, 2003). As precárias condições ergonômicas em uma jornada de trabalho onde os colaboradores estão predominantemente sentados aumentam o risco de acometimento de lombalgias.

Os condutores profissionais ainda estão expostos à agentes vibratórios, de forma específica à vibração de corpo inteiro (VCI). Nesse caso, a vibração, comum nos veículos devido à presença do motor, é transmitida ao corpo como um todo através de superfícies de sustentação, como os assentos, o volante e os pedais (Fig. 1). Os níveis vibratórios podem causar nos motoristas situações de desconforto, eficiência reduzida e se elevados podem configurar situações insalubres à esses profissionais.



Figura 1: Regiões de transmissão da vibração ao corpo humano.  
Fonte: (FENDRICH, 2015)(MODIFICADA).

Inúmeros estudos demonstram forte ligação entre a profissão do motorista e o acometimento de distúrbios na região lombar (HULSHOF, 1986; BOVENZI; BETTA, 1994; BOVENZI; HULSHOF, 1999; BOVENZI et al., 2006; ALPEROVITCH-NAJENSON et al., 2010; CHRISTENSEN et al., 2013). Além disso, o trabalho na posição sentada por um longo tempo e a postura repetida são considerados fatores de risco para o surgimento de lombalgias, com mostra a Fig. (2).



Figura 2: Regiões afetadas pela má postura do motorista.  
Fonte: (QUIROVIDA, 2014).

## 1.2 Motivação

A segurança e a saúde no trabalho são destaques nas discussões trabalhistas atuais em decorrência dos impactos sociais e econômicos causados pelos acidentes do trabalho e doenças ocupacionais. A Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) estabeleceu os deveres do órgão responsável pelas atividades de medicina e segurança do trabalho a nível nacional, das empresas e dos empregadores visando o resguardo da saúde e segurança dos colaboradores.

No Brasil, em 2017, foram concedidos 196.754 benefícios a trabalhadores afastados devido a acidentes ou adoecimentos laborais. A média foi de 539 afastamentos por dia (INSS, 2017b). Entre os 20 principais motivos dos afastamentos estão a dorsalgia, como são conhecidas na área de medicina e saúde as dores na coluna. Essas por sua vez, aliadas a lombalgia, são as causas centrais das queixas de trabalhadores expostos à VCI.

Dados preliminares do Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS, 2017b), em 2017, apontam a dorsalgia como a quinta maior causa de afastamento durante um período superior a 15 dias por adoecimento no trabalho, com um total de 12.073 benefícios concedidos. No Distrito Federal, o panorama é semelhante, com a dorsalgia em 5º lugar entre os principais motivos de afastamento dos trabalhadores no ano de 2017 (INSS, 2017a). Como forma de alerta está previsto o lançamento da Campanha Nacional de Prevenção de Acidentes de Trabalho (CANPAT) pelo Ministério do Trabalho.

As questões a cerca da saúde e segurança dos trabalhadores também estão presentes no âmbito judicial. Segundo o relatório geral da justiça do trabalho 2017 (TST, 2017), os pedidos de adicional de insalubridade estão no ranking dos 20 assuntos mais recorrentes da justiça do trabalho naquele ano, com um total de 489.490 processos. E entre os meses de janeiro a agosto de 2018, o adicional de insalubridade foi a motivação para a abertura de 7.471 processos no Tribunal Superior do Trabalho sendo o oitavo assunto mais frequente na instância máxima.

O requerimento de insalubridade devido a exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro, entre os anos de 2012 e 2013, era muita das vezes desconhecido no ramo técnico e judicial por parte das empresas operadoras de transporte urbano por ônibus no Brasil. Os empresários eram surpreendidos com ações judiciais por parte de motoristas e/ou cobradores que buscavam uma investigação detalhada sobre possíveis condições de trabalho insalubres. A falta de conhecimento à cerca do tema foi prejudicial para ambos os interessados.

Fato esse que motivou uma parceria de estudos entre a Associação Nacional da Empresas de Transportes Urbanos (NTU) e Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE), em meados de janeiro de 2012. A publicação intitulada de “Cartilha de Vibração de Corpo Inteiro” foi fruto desta colaboração entre as duas instituições. Publicada em março do mesmo ano, a cartilha trouxe conhecimento para os associados sobre o tema e orientações sobre como proceder técnica e judicialmente em face das ações judiciais.

Os trabalhadores ganharam o apoio dos Centros de Referência em Saúde do Trabalhador (CERESTs), que são responsáveis por prover suporte técnico e difundir informações de interesse a saúde do trabalhador.

Os casos judiciais e os riscos à saúde dos trabalhadores continuam sendo pauta de discussão nos principais veículos de informação brasileiros. E embora as discussões permeiem anos e sejam de extrema importância para a classe trabalhadora, há uma quantidade desproporcional de estudos de medição e análise dos níveis de VCI *in situ* em motoristas de transporte urbano no país e principalmente na capital deste.

A oportunidade de estágio na NTU suscitou a vontade do desenvolvimento de um trabalho de conclusão de curso que pudesse associar engenharia de transportes e engenharia mecânica. Aliado à esse desejo, o conhecimento do trabalho desenvolvido pela NTU sobre VCI trouxe uma motivação especial.

Atualmente, realizando o estágio em uma das concessionárias do transporte público do DF, a qual terá identidade não revelada para fins de seu resguardo, será possível o desenvolvimento *in situ* do estudo dos níveis de vibração em motoristas profissionais de ônibus urbanos.

### 1.3 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é a medição e análise de VCI em motoristas do transporte urbano do Distrito Federal que realizam viagens em veículos básicos de motor dianteiro em rotas já existentes, com base nas normas ISO 2631-1 e Norma de Higiene Ocupacional 09 (NHO 09).

### 1.3.1 Objetivos específicos

- Revisar a bibliografia referente a teoria de vibração no corpo humano com foco na VCI em motoristas de transporte urbano e estudar a normativa usada para avaliação de VCI;
- Elaborar um questionário de anamnese para caracterização da amostra a ser estudada e definir a amostra representativa a ser selecionada para o estudo;
- Estabelecer as rotas, veículos e motoristas nos quais serão feitas as medições de VCI;
- Definir o planejamento experimental;
- Realizar as medições de VCI planejadas previamente com base na normativa vigente e analisar os dados;
- Buscar por uma correlação entre os dados de vibração medidos e parâmetros como: rota percorrida, antropometria do motorista e massa suspensa no veículo.

## 1.4 Metodologia

A metodologia a ser utilizada neste trabalho é melhor ilustrada no fluxograma da Fig. (3). Compreende inicialmente a submissão do projeto de pesquisa à apreciação ética do sistema CEP (Comitê de Ética em Pesquisa)/CONEP (Comissão Nacional de Ética em Pesquisa) como solicitado pela Resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde em caso de estudo realizado com seres humanos.

Consiste ainda na elaboração e aplicação de um questionário de anamnese, que baseia-se em perguntas abertas e fechadas para obtenção de dados relacionados à rotina, sintomas e antecedentes do indivíduo. Este será realizado com o objetivo de conhecer os trabalhadores da empresa co-participante no que se refere a sua saúde, dores sentidas, prática de atividades físicas e incômodos experimentados durante o desenvolvimento de suas atividades laborais.

O método compreende ainda a definição da amostra representativa de experimentos a serem realizados no estudo, e também o estabelecimento de quantos condutores serão demandados diretamente para as medições. A seleção destes trabalhadores dentre aqueles que compõe o quadro da empresa será realizada com o cruzamento dos dados obtidos com o questionário e o planejamento logístico da empresa.

A planilha de planejamento experimental será elaborada de acordo com os motoristas selecionados na amostragem e com o arranjo logístico das viagens por estes realizadas, visando obter experimentos em diferentes rotas, para fortalecer as discussões posteriores.

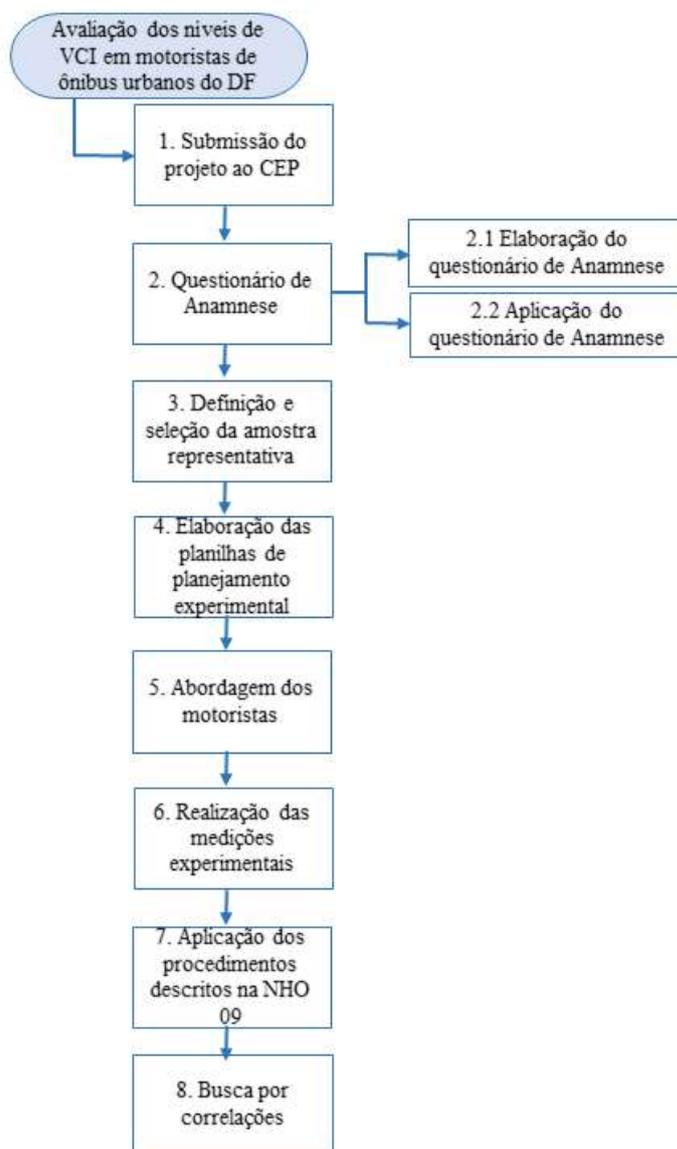


Figura 3: Fluxograma do trabalho.

De posse da planilha de planejamento experimental, os motoristas serão abordados e convidados a participar da pesquisa. Caso aceitem, serão aferidas a massa, a altura e o percentual de gordura corporal de cada um dos condutores.

A metodologia segue com a realização das medições dos níveis de vibração de corpo inteiro nos motoristas com um acelerômetro triaxial de assento e um analisador portátil de vibrações (HVM 100), do fabricante Larson Davis, nas rotas previamente definidas e com os profissionais realizando sua jornada de trabalho típica.

Os dados obtidos na medição serão tratados segundo os procedimentos técnicos definidos na NHO 09 de autoria da Fundacentro, para que possam ser avaliados de acordo com os valores limites estabelecidos pela normativa.

A metodologia também aborda um estudo comparativo entre os níveis obtidos para diferentes rotas, diferentes condutores e diferentes massas suspensas visando a caracterização de possíveis rotas críticas e a influência de condições inerentes aos condutores

e passageiros nos níveis vibratórios obtidos.

## 1.5 Organização do trabalho

O presente documento está dividido em 6 capítulos. O primeiro capítulo aborda uma introdução à cerca do projeto, onde são expostas uma breve contextualização e a motivação deste, bem como os objetivos geral e específicos e a metodologia a ser utilizada.

No segundo capítulo é feita a revisão bibliográfica sobre a vibração de corpo inteiro, mostrando o estado da arte da pesquisa nacional e internacional a cerca do tema e enfatizando a abordagem da VCI em motoristas de transporte urbano.

O terceiro capítulo traz a teoria de vibrações em corpo humano, de forma a apresentar os efeitos que a transmissibilidade pode gerar nos trabalhadores. Este capítulo também aborda as normativas que embasaram o projeto e que serão utilizadas na realização das medições experimentais.

O capítulo 4 delinea a metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho. Na sequência, tem-se o capítulo 5 que abrange os resultados, bem como as discussões feitas acerca destes.

O capítulo 6 aborda as conclusões que podem ser inferidas com base nos resultados apresentados no capítulo anterior e as sugestões de trabalhos futuros. Por fim, é apresentada a bibliografia utilizada no presente trabalho.

## 2 Revisão bibliográfica

O advento da indústria moderna propiciado pelo desenvolvimento tecnológico nos primórdios do século XX intensificou o contato humano com os estímulos vibratórios. O surgimento das máquinas motorizadas devido a mecanização do trabalho e a proliferação dos veículos automotores aumentou significativamente a exposição humana às vibrações mecânicas (BECKER, 2006).

Aliada ao crescimento dos casos de exposição à vibração, a possibilidade de essas estabelecerem condições insalubres para o ser humano, sendo a possível causa do surgimento de patologias, motivou o desenvolvimento dos estudos acerca do tema, tanto na área da medicina e saúde quanto nas engenharias e na ergonomia.

A vibração no corpo humano, bem como seus impactos tem seus estudos segregados em duas grandes áreas que se distinguem quanto a forma de que esta é transmitida ao corpo (FERREIRA; SCARPIM, 2015). Dessa forma podem ser feitas: a avaliação da vibração de corpo inteiro e a avaliação da vibração de extremidade ou das vibrações segmentais. A avaliação em cada um desses casos é feita de forma distinta e de acordo com as normas específicas que estabelecem os procedimentos de medição e análise.

As vibrações segmentais também chamadas de vibrações localizadas atingem determinadas partes do corpo em específico. A vibração no segmento mão e braço é a mais estudada dentro dessa classificação e se situa na faixa de 6,3 a 1.250 Hz (SOEIRO, 2011). São de forma recorrente observadas em operadores de ferramentas manuais, como motosserras, lixadeiras, martelos pneumáticos, entre outros, como mostra a Fig. (4). No âmbito internacional são normatizadas pela ISO-5349. A Norma de Higiene Ocupacional 10 (NHO 10) da Fundacentro estabelece os procedimentos técnicos para a avaliação da exposição ocupacional à vibração em mãos e braços.

A vibração de corpo inteiro é transmitida à todo o corpo do indivíduo pelo seu contato com uma fonte vibratória, comumente quando a pessoa está sentado ou em pé em uma superfície que vibra (SMITH; LEGGAT, 2005). A Diretiva 2002/44/CE do Parlamento Europeu de 25 de Junho de 2002 define a VCI como a vibração mecânica transmitida a todo organismo humano ocasionando possíveis riscos a saúde e a segurança de trabalhadores, destacando patologias e lesões na coluna lombar (PORTELA, 2014). As normativas que guiam as avaliações técnicas da VCI são a ISO-2631 e a Norma de Higiene Ocupacional 09 (NHO 09) da Fundacentro.



Figura 4: Vibrações no segmento mãos e braços (extremidades).  
 Fonte: (SOEIRO, 2011).

Há ainda a exposição rotineira que ocorre por um longo período de tempo como as atribuições laborais que expõe os trabalhadores à esse risco ocupacional diariamente e aquela onde os indivíduos não estão expostos à vibração regularmente, mas que podem ter contato com o agente em situações esporádicas e de menor duração, como passageiros de ônibus rodoviários e urbanos (FIGUEIREDO; SILVA; BARNABÉ, 2016).

A VCI é frequentemente encontrada em muitas realidades de trabalho, expondo trabalhadores que desempenham diferentes funções em diversos setores. Na construção civil podemos citar o trabalho com motoniveladoras e pás carregadeiras. No âmbito dos transportes e aviação têm-se o uso dos caminhões, ônibus, motocicletas, veículos em geral, trens, metrô, helicópteros e embarcações. Na agricultura se tem o uso das máquinas agrícolas como colheitadeiras e tratores. A indústria em geral trabalha com diversos equipamentos que expõem o trabalhador à VCI, como a ponte-rolante e a empilhadeira (SILVA; MENDES, 2005).

A vibração de corpo inteiro percebida em veículos de transporte é marcada na vasta maioria dos casos pela irregularidade, onde a oscilação não apresenta um trajeto definido no tempo (AMANN, 2006). Sendo assim, a análise ocupacional da VCI é marcada pela observância de fatores primordiais: magnitude da vibração, frequência da vibração, direção e duração da vibração.

No que se diz respeito a frequência, a VCI sentida nos veículos de transporte pode apresentar duas principais faixas: a baixa frequência e a alta frequência. Enquanto a baixa frequência é característica de veículos de movimentação lenta tal como navios e barcos, a alta frequência está ligada a presença de motores e também associada a trepidação de veículos em trânsito (DUL; WEERDMEESTER, 2004; GERGES, 2005; SEBASTIÃO;

MARZIALE, 2008).

Os estudos dos efeitos das vibrações de baixa frequência tem enfoque no sistema nervoso e são associados ao surgimento de náuseas e vômitos no transporte. Enquanto que as vibrações em elevada frequência estão ligadas à sensações de desconforto e prejuízos no desempenho laboral do ser humano (QUINTAS, 2009).

Em se tratando da magnitude da vibração de corpo inteiro, esta pode ser apresentada em termos de deslocamento, velocidade e aceleração (PORTELA, 2014). Os métodos de avaliação ocupacional comumente utilizam acelerômetros para quantificar os níveis de exposição. Dessa forma, a magnitude da vibração é mensurada em  $\frac{m}{s^2}$ , em termos de aceleração.

A resposta do corpo à vibração de corpo inteiro depende também da direção e das regiões do corpo atingidas. Quando atingem o corpo humano, as vibrações podem propagar-se por diversos eixos e direções (FERREIRA, 2015), podendo ser quantificadas em um sistema de coordenadas ortogonal.

A norma ISO 2631-1 de 1997 estabelece como longitudinais as acelerações no eixo “z” que compreende a direção que vai dos pés a cabeça. O eixo “x” é o eixo frontal compreendido das costas para o peitoral e o eixo “y” é o eixo lateral, da direita para a esquerda, como mostrado na Fig. (5).



Figura 5: Sistema de coordenadas utilizado em vibrações mecânicas no ser humano. Disponível em: <<http://www.higieneocupacional.com.br/download.pdf>> Acesso: 19 de set. 2018.

Os estudos de vibração de corpo inteiro no campo dos transportes, retratam a predominância do maior nível de aceleração no eixo z, fato esse associado a maior tendência do movimento se dar no sentido vertical (SEIDEL, 2005).

Outro fator preponderante para a análise da vibração de corpo inteiro é o tempo de duração da exposição. Longos tempos de exposição podem ser a causa da intensificação dos efeitos maléficos sentidos pelo organismo humano (HULSHOF, 1986). A exposição à VCI de baixa magnitude por tempo prolongado é correlacionada com o surgimento de dores nas costas, principalmente no tocante a região lombar, em muitos estudos. (SEIDEL, 2005; BOVENZI, 2009; BOVENZI, 2010). Os períodos prolongados de exposição a vibrações causam irritabilidade, fadiga, *stress* e problemas de concentração do trabalhador (BLOOD et al., 2010).

Os estudos da exposição à vibração experimentada pelo corpo humano nos trabalhadores que operam veículos alertam que essa condição pode contribuir para o surgimento de dores nas costas em motoristas profissionais (BALBINOT; TAMAGNA, 2002). Pesquisas tem demonstrado (PADDAN; GRIFFIN, 2002; BOVENZI et al., 2006) que as situações de exposição à VCI em motoristas de ônibus urbanos podem alcançar níveis moderados de insalubridade se não forem tomadas as devidas precauções.

O trabalho desenvolvido por (MAGNUSSON et al., 1996) estudou a correlação entre a exposição à vibração de corpo de inteiro e os relatos de dores nas costas, pescoço e ombro de motoristas de ônibus suecos e norte-americanos. A exposição à vibração foi obtida pela medição direta da vibração imposta ao motorista durante um dia de trabalho típico e as informações a respeito dos aspectos físicos e psicossociais do ambiente de trabalho foram obtidas por questionários respondidos por estes profissionais. Da amostra estudada, 50% relataram lombalgia, sem diferença entre os países e os maiores fatores de risco se caracterizaram em exposições à vibração a longo prazo.

(BALBINOT; TAMAGNA, 2002), em seu trabalho de caracterização dos níveis de vibração em motoristas, realizou ensaios em uma rota comercial de 18 km na cidade de Porto Alegre precedidos da aplicação de um questionário de anamnese. A amostra de motoristas compreendia dois profissionais do sexo masculino, um deles com 45 anos, 65 kg, 1,76 m e 10 anos desempenhando a função e o outro, com 50 anos, 75 kg, 1,68 m e 20 anos de função.

Esta pesquisa concluiu que os motoristas dos veículos estavam expostos a limites que ultrapassavam os recomendados para o conforto (exposição de 2,5 a 6 horas), o que está diretamente ligado ao *stress* atrelado à profissão. Se comparadas ao limites estabelecidos para saúde, a partir de 8 horas de trabalho os valores de aceleração à que estes estavam expostos passam a ser danosos. E um dos pontos mais significativos mostrou que as maiores acelerações encontradas estão na faixa da frequência de ressonância da coluna vertebral, em consonância com as reclamações de dores obtidas com as respostas de seus questionários e com outros estudos da área.

(FIGUEIREDO; SILVA; BARNABÉ, 2016) realizaram um estudo observacional em uma cidade do interior do estado de Minas Gerais, cuja amostra foi composta por um motorista do sexo masculino, 29 anos, 72 kg, 1,74 m; um cobrador do sexo masculino, 28 anos, 88 kg, 1,70 m e uma passageira, 41 anos, 59 kg, 1,64 m. Os valores obtidos com a aplicação dos procedimentos descritos na diretiva europeia mostraram a superação dos índices de nível de ação para o motorista e para o cobrador. Sendo necessária a adoção de medidas preventivas para que a exposição não venha a causar riscos à saúde destes profissionais.

Atualmente, há dados limitados disponíveis sobre os níveis de vibração de corpo inteiro experimentados por trabalhadores em sistemas de trânsito, mas grande parte dos estudos que foram publicados sugere que as exposições desses trabalhadores excedem os padrões recomendados (LEWIS; JOHNSON, 2012).

A sensação de desconforto devido à exposição ocupacional à VCI é frequentemente constatada em motoristas, e ainda, é datado o aumento do desconforto com a elevação da magnitude e duração da exposição (SEKULIĆ et al., 2016). Ademais, a utilização de veículos motorizados parece representar uma ameaça significativa quando associada ao surgimento de patologias nas costas (WHITE; PANJABI et al., 1990). Cabe ressaltar que o termo *dor nas costas* refere-se às dores na coluna cervical, torácica e lombar que não estão associadas à infecções, tumores, doenças sistêmicas e fraturas (BALBINOT; TAMAGNA, 2002).

A exposição de motoristas à vibração de corpo inteiro tem sido constatada como um fator de stress mecânico para o desenvolvimento acelerado de doenças degenerativas da coluna vertebral e dores lombares (JOHANNING, 1991; BOVENZI; HULSHOF, 1999; OKUNRIBIDO; MAGNUSSON; POPE, 2006a; YASOBANT; CHANDRAN; REDDY, 2015). Em sua revisão epidemiológica, (PUNNETT et al., 2005) afirma que em todo o mundo, 37% dos casos de lombalgia são de natureza ocupacional, estando relacionado com as atividades laborais dos indivíduos.

A forte ligação entre a exposição à vibração de corpo inteiro e a lombalgia tem sido encontrada em numerosos estudos (BOVENZI; BETTA, 1994; WILDER et al., 1994; MAGNUSSON et al., 1996; OKUNRIBIDO et al., 2007; OKUNRIBIDO; MAGNUSSON; POPE, 2008; ALPEROVITCH-NAJENSON et al., 2010; TIEMESSEN; HULSHOF; FRINGS-DRESEN, 2008). No que se refere a contribuição para o surgimento e desenvolvimento de problemas nas costas, vários fatores de origem laboral são identificados como agravantes para a situação. Dentre eles, a fadiga postural e exposição à VCI são os dois principais (ZHANG; QIU; GRIFFIN, 2015).

A exposição à vibração de corpo inteiro é amplamente reconhecida como uma das causas associadas a distúrbios muscoesqueléticos do sistema espinhal de motoristas profissionais, sendo frequentemente relatada a degeneração precoce da coluna (OKUNRIBIDO; MAGNUSSON; POPE, 2006b). As lesões musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho são

lesões dolorosas causadas nos músculos, ossos, tendões e em outros tecidos devido à atividade no local do trabalho. Tais lesões são reconhecidas por serem a causa de problemas ocupacionais significativos, gerando crescentes custos de compensação e de saúde, queda da produtividade dos trabalhadores e redução na qualidade de vida destes (YASOBANT; CHANDRAN; REDDY, 2015).

Desse modo, os condutores de ônibus compõem um grupo de trabalhadores que possui um risco elevado de desenvolvimento de lombalgias (BLOOD et al., 2015), uma vez que são regularmente expostos a VCI pelo fato da maior parte de sua jornada de trabalho diário compreender a tarefa de dirigir o veículo (BOVENZI; HULSHOF, 1999; BLOOD et al., 2015).

Vários trabalhos de pesquisa, entre esses, estudos epidemiológicos, investigam as causas correlacionais e os fatores de risco envolvidos em suas atribuições laborais (ROSEGGER, 1960; BOVENZI; BETTA, 1994; COSTA et al., 2001; JIN et al., 2000; MAGNUSSON et al., 1996; KUMAR et al., 1999; KEYSERLING, 2000; MANSFIELD; MARSHALL, 2001).

A alta recorrência da lombalgia em motoristas de ônibus profissionais tem sido abordada em vários trabalhos de pesquisa e em trabalhadores de diferentes nacionalidades. Cerca de 81% dos motoristas de ônibus americanos (STATISTICS et al., 2004), 49% dos motoristas de ônibus suecos (MAGNUSSON et al., 1996) e 45% (ALPEROVITCH-NAJENSON et al., 2010) dos motoristas de ônibus israelenses relataram a presença de dores lombares em seu trabalho atual.

As pesquisas brasileiras também retratam a prevalência das dores lombares em condutores profissionais e estudam os fatores que podem provocar o surgimento de quadro doloroso. O estudo realizado com 40 motoristas e 39 cobradores de ônibus da cidade de Jequié-BA que realizam viagens intermunicipais verificou a incidência de dor em alguma região corpo nos últimos 12 meses de 70,0% e 76,9%, respectivamente (CARNEIRO et al., 2007). Ainda de acordo com os autores, cerca de 26,6% dos motoristas e 33,3% dos cobradores se ausentaram do trabalho devido às dores e a maioria das dores se localizavam na coluna lombar desses trabalhadores, abrangendo 48,7% da amostra em estudo.

Outro trabalho de pesquisa estudou o efeito da lombalgia na qualidade de vida de motoristas de ônibus urbano da cidade de Londrina-PR (MACEDO; BATTISTELLA, 2007). Nos motoristas que apresentaram lombalgia observou-se uma diferença significativa nos parâmetros de dor e estado geral de saúde se comparados aos cobradores com lombalgia. A avaliação da correlação da dor lombar com os parâmetros de qualidade de vida foi positiva para saúde mental ( $R^2=0,74$ ). Dessa forma, pode-se notar que a lombalgia impacta no quadro doloroso destes trabalhadores podendo afetar assim o seu despenho profissional.

Outros trabalhos investigam a associação entre a dor lombar e a fadiga em motoristas. Esses estudos mostram que a dor lombar é variável significativa quando relacionada

ao aumento da sensação de fadiga durante o trabalho desses profissionais (CHRISTENSEN et al., 2013; SADRI, 2015). O que leva ao fato de que a dor lombar pode interferir não apenas na diminuição do desempenho dos condutores, mas também pode aumentar o risco da ocorrência de acidentes nas vias.

Segundo (KELSEY; HARDY, 1975), os motoristas de veículos possuem grande risco de desenvolverem patologias de hérnia de disco. O trabalho ainda retrata que a maior carga dinâmica no tronco humano e na espinha ocorre quando se está na posição sentada, vibrando verticalmente na faixa de frequência entre 4 e 8 Hz.

O trabalho do motorista de transporte urbano bem como seus impactos na sua saúde estão diretamente ligados ao ambiente em que esse é realizado. Nos tempos atuais, a grande parte das pessoas desempenha suas atividades profissionais em ambientes fechados, como salas comerciais e lojas, por vezes confortáveis e até climatizados. Enquanto os motoristas exercem suas atividades profissionais em um ambiente público, o trânsito das cidades. Não possuindo um local restrito e definido para realização de suas atribuições, estando sujeito assim a condições de tráfego, trajetos, condições das vias e ao contato com a população, em geral (PORTELA, 2014).

Numerosos aspectos influenciam a transmissão da vibração do veículo ao corpo dos motoristas. Os trabalhos de pesquisa desenvolvidos até então nessa área apontam fortes ligações entre a vibração de corpo inteiro e fatores como: tipo de pavimento no qual o veículo se desloca, distinção física e a forma de condução do motorista, pressão interna dos pneus, sistema de suspensão do veículo, assento do motorista, entre outros (MAGNUSSON; POPE, 1998; PALMER et al., 2000; STAYNER, 2000; BARREIRA; MATOS; BAPTISTA, 2015).

A intensidade das vibrações de corpo inteiro nos motoristas urbanos ainda podem variar significativamente com o design do assento, a velocidade operacional e os condutores, de forma específica a sua massa, postura ou posição de condução e experiência do profissional (BARREIRA; MATOS; BAPTISTA, 2015).

Em sua jornada de trabalho, os motoristas passam a maior parte do tempo sentados. É desejável que seus assentos sejam projetados com o objetivo de evitar o desconforto estático e também de minimizar a transmissão de vibração que pode causar além de sensações de desconforto, o surgimento de doenças ocupacionais (CARNEIRO et al., 2007).

Estudos mostram que as poltronas podem ter diferentes desempenhos quanto a sua capacidade de absorver à vibração (TROUP, 1988), atenuando assim a parcela de vibração transmitida ao corpo do trabalhador. No entanto, os assentos podem ser ineficazes quanto a absorção da vibração de corpo inteiro.

(FIGUEIREDO; SILVA; BARNABÉ, 2016) em sua avaliação da VCI em motoristas, cobradores e passageiros do transporte coletivo brasileiro, constataram que os postos de trabalho dos condutores não apresentam adequação para o amortecimento necessário das vibrações mecânicas. Os autores observaram ainda que os assentos desses trabalhado-

res não possuem a configuração adequada, pois os níveis observados nos assentos de passageiros, que de forma geral apresentam uma estrutura mais rígida, são similares aqueles encontrados nos assentos dos condutores.

Em certos casos, os assentos podem ainda aumentar a transmissibilidade da vibração ao corpo do colaborador e o entendimento significativo do desempenho do assento no que se diz respeito a vibração de corpo inteiro não é bem quantificado nos trabalhos de pesquisa (PADDAN; GRIFFIN, 2002).

A inclinação do assento do motorista, a altura desse a partir do nível do solo, o formato do encosto, sua posição e a presença ou não de apoio para os braços são influenciadores da postura sentada adotada por esses profissionais (OKUNRIBIDO; MAGNUS-SON; POPE, 2006b). Sabendo que todas as posturas escolhidas se tornam desconfortáveis se mantidas por um longo período de tempo, o assento deste profissional deve permitir alterações regulares de posição.

As principais regulagens presentes nos assentos de motoristas de ônibus rodoviários permitem a mudança de inclinação, alteração de peso e altura, o avanço ou recuo da poltrona e também a regulagem do encosto, como mostrado na Fig. (6).



Figura 6: Representação dos ajustes comuns permitidos em assentos de motoristas.  
Fonte: (APOLLO, 2018) (MODIFICADA).

As suspensões de assentos podem ser ineficazes na amenização da transmissão da vibração ao corpo do motorista se não forem ajustadas da forma correta (BLOOD et al., 2010). Os profissionais recorrentemente ajustam de forma incorreta seus assentos fazendo o ajuste para opções mais pesadas e para maiores alturas na tentativa de melhorar sua visibilidade, o que prejudica a eficácia no isolamento das vibrações de corpo inteiro (IIDA;

WIERZZBICKI, 2005).

Contribuem ainda para o aparecimento ou agravamento de lesões lombares, a associação da exposição a vibração de corpo inteiro e a repetição de movimentos, o descanso insuficiente e a aplicação de posturas incorretas (LEWIS; JOHNSON, 2012).

As lesões lombares requerem tratamento um tanto quanto extenso e muitas vezes resultam em longos períodos de afastamento do trabalhador de suas atividades de trabalho (BLOOD et al., 2010). Além disso, (JOHANNING, 1998) constatou que os distúrbios de coluna são uma das maiores fontes de comprometimento médico e incapacidade permanente precoce entre operadores de transporte.

Desta forma, os danos e perturbações causados pela exposição à vibração no ambiente de trabalho são reconhecidos como doenças ocupacionais ou profissionais, muitas vezes são incuráveis e irreversíveis, por esse motivo é sempre recomendado como essencial à implementação de programas de prevenção adequados (PORTELA, 2014).

Visto que a literatura aqui apresentada carece de medições *in situ* realizadas para a avaliação da exposição à VCI, o presente trabalho fará este tipo de análise. Como nos trabalhos revisados comumente é realizada a investigação de possíveis correlações da VCI com algumas variáveis, também será feita a busca de alguma relação da exposição ocupacional com a antropometria do condutor no que diz respeito ao seu percentual de gordura e Índice de Massa Corporal (IMC) e a massa suspensa no veículo proveniente da quantidade de passageiros transportados.

# 3 Vibração de Corpo Inteiro: Teoria e normativa

## 3.1 Teoria de Vibração do Corpo Humano

As vibrações podem ser definidas como as oscilações mecânicas de um determinado corpo caracterizadas por sua variação durante um certo intervalo de tempo (FERREIRA; SCARPIM, 2015). No corpo humano, a vibração é caracterizada por qualquer movimento que o corpo execute em torno de um ponto que está fixo. Esse movimento pode ainda ser regular e repetido ou irregular quando não se tem uma trajetória bem definida no tempo (IIDA; WIERZZBICKI, 2005).

A humanidade é impulsionada por seus desejos de criar, modificar e descobrir. Com isso grande parte das atividades desenvolvidas pelo ser humano envolve sua exposição à vibração. Seja no uso de ferramentas elétricas manuais, nas máquinas utilizadas pela indústria ou no transporte por aviões, trens ou automóveis, a dissipação de energia na forma de vibração é transmitida às pessoas (MANSFIELD, 2004).

O estudo da resposta humana à vibração possui uma natureza verdadeiramente multidisciplinar (MANSFIELD, 2004), como retratado na Fig. (7). A confirmação da pluralidade das áreas que produzem pesquisas acerca da vibração no corpo humano vem na observação das referências usadas nestes trabalhos, que em geral abordam autores da área da engenharia, medicina, psicologia e ergonomia.

Se a frase “resposta humana à vibração” é separada em cada palavra que a compõem, nota-se que a compreensão completa a respeito deste assunto envolve os aspectos humanos (biológicos, anatômicos e fisiológicos), a sua resposta (aspecto psicológico e biomecânico) e a natureza da vibração (referente a engenharia e a física implícita) (MANSFIELD, 2004). E embora a maioria das pesquisas possua um viés específico em uma das áreas, o entendimento das interações entre elas é fundamental para a compressão do tema.

O corpo humano é extremamente preciso e a mínima alteração de comportamento é perceptível (FERREIRA, 2015). Não há apenas um único órgão sensível à vibração no corpo humano, mas uma combinação de sinais dos sistemas visual, vestibular, nervoso e auditivo (MANSFIELD, 2004). Cada um desses sistemas pode sentir a vibração de mais

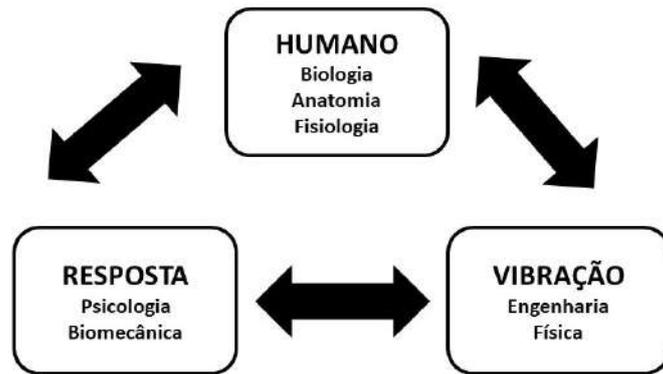


Figura 7: Multidisciplinariedade dos estudos da resposta humana à vibração.  
 Fonte: (MANSFIELD, 2004) (MODIFICADA).

de uma maneira.

Movimentos com aceleração aproximada de  $0,01 \frac{m}{s^2}$  são percebidos pelo corpo (GRIFFIN, 1998). E movimentos oscilatórios com aceleração de cerca de  $10 \frac{m}{s^2}$  podem ser bastante danosos ao organismo (MELO, 2006).

Para alta oscilação e, portanto, oscilação de baixa frequência, é perceptível o movimento por mudanças na posição relativa dos objetos na retina (MANSFIELD, 2004). O sistema visual pode ainda sentir a vibração observando o movimento de outros objetos no ambiente de vibração, por exemplo, um espelho retrovisor de um carro pode vibrar, borrando assim a imagem (MANSFIELD, 2004). E o próprio globo ocular pode ressoar em frequências entre 30 a 80 Hz, causando o escurecimento da visão (STOTT; VIVEASH; KING, 1993).

O sistema nervoso somático é dividido em três segmentos: cinestésico, visceral e cutâneo. A sensação cinestésica usa sinais de seus receptores nas articulações, músculos e tendões para fornecer uma resposta ao cérebro sobre posições e forças dentro destes e da mesma forma, a sensação visceral usa receptores no abdômen. A sensação cutânea é uma resposta combinada de quatro tipos de terminações nervosas na pele. Terminações localizadas na camada mais profunda da pele (derme) respondem a vibrações de alta frequência, entre 100 e 500 Hz, enquanto aquelas mais próximas a superfície cutânea (epiderme) são sensíveis à vibrações na faixa de 5 a 60 Hz (MANSFIELD, 2004).

O complexo vestibular da orelha interna inclui os canais semicirculares e o vestíbulo. Estes são sensíveis à aceleração rotacional e linear, respectivamente. Em frequências acima de 20 Hz, as superfícies vibratórias também podem atuar como alto-falantes, fazendo o direcionamento direto do ar, e isso pode resultar em percepção por parte do sistema auditivo (MANSFIELD, 2004).

Quando a vibração é provocada unicamente por um deslocamento inicial em relação à posição de equilíbrio ou por uma velocidade inicial é chamada de vibração livre (BARBOSA, 2016). Se a vibração do sistema for resultado da aplicação de uma força

externa que o faz vibrar continuamente, é designada de vibração forçada (BARBOSA, 2016).

Em uma vibração forçada, se a frequência de excitação coincidir com a frequência natural do sistema, tem-se o efeito chamado de vibração de ressonância. A frequência de ressonância resulta na amplificação da amplitude de vibração, e no corpo humano compromete a integridade das estruturas o suportam (MANSFIELD, 2004). Como resultado, têm-se grandes oscilações dentro da estrutura, podendo criar tensões potencialmente prejudiciais para o organismo (CHAFFIN; ANDERSON; MARTIN, 2001).

O corpo humano pode ser representado de forma simplificada por um conjunto de subsistemas massa-mola-amortecedor (BARBOSA, 2016), cada um deles com uma frequência de ressonância característica, como mostrado na Fig. (8). Estudos vem sendo realizados com o objetivo de identificar a frequência de ressonância de cada região do corpo, bem como a frequência de excitação emitida por diferentes máquinas e equipamentos (SEIDEL, 2005; BOVENZI, 2009; BOVENZI, 2010).



Figura 8: Frequência de ressonância das regiões do corpo humano.  
Disponível em: <<http://blog.safemed.pt/ruido-problema-para-a-saude-publica>>  
Acesso: 10 de nov. 2018.

O ser humano é exposto essencialmente às vibrações localizadas ou vibrações que atingem corpo todo (FERREIRA; SCARPIM, 2015). A vibração localizada afeta principalmente o sistema mão-braço, e é encontrada em indivíduos que estão segurando objetos vibratórios, como uma ferramenta de trabalho ou dispositivos de controle. Esse tipo de vibração é denominado “vibração transmitida à mão” ou “vibração no seguimento mão-braço” e costuma ser abreviado com o uso da sigla VMB.

Se o indivíduo é exposto à uma magnitude considerável por tempo suficiente pode desenvolver a Síndrome da Vibração Mão-Braço, do inglês: *Hand-arm vibration syndrome* (HAVS) (MANSFIELD, 2004). A HAVS é caracterizada por distúrbios musculares, nervo-

tos e ósseos. E também ocasiona o surgimento de patologias nas articulações e no sistema circulatório, dentro as mais conhecidas estão a síndrome de Raynoud ou doença do dedo branco.

Os efeitos da vibração transmitida pela mão estão concentrados em altas frequências, aproximadamente na faixa entre 8 a 1.000 Hz (MANSFIELD, 2004), como mostrado na Fig. (9). A vibração localizada não se restringe apenas às mãos e aos braços, podendo ser encontrada em outras partes do corpo humano, como os pés em virtude da vibração dos pedais nos veículos (FERREIRA; SCARPIM, 2015). Porém, nesses casos é incomum encontrar respostas humanas prejudiciais ao organismo.

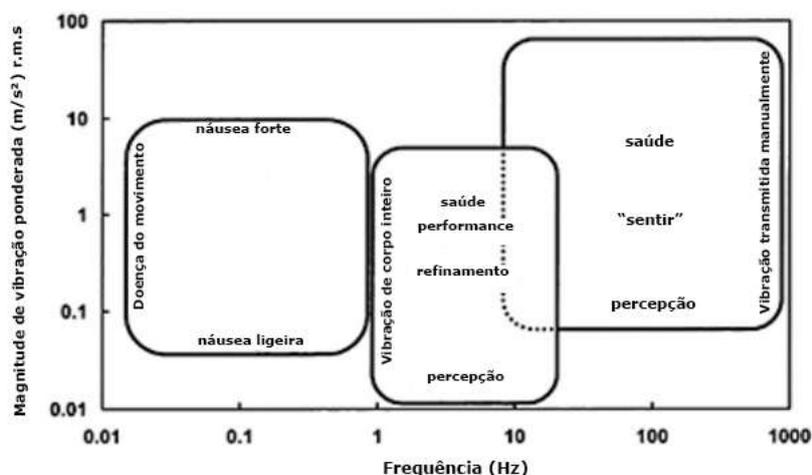


Figura 9: Faixas de frequências e magnitudes típicas por tipo de vibração.  
 Fonte: (MANSFIELD, 2004) (MODIFICADA)

A vibração de corpo inteiro atinge o organismo humano como um todo, ou seja, todas as partes do corpo. Comumente, é transmitida ao corpo humano por meio de superfícies vibrantes, como assentos, encostos e o próprio chão (MANSFIELD, 2004). A vasta maioria dos casos de vibração de corpo inteiro está associada ao transporte, onde os condutores dos veículos e passageiros estão expostos a vibração mecânica e seus efeitos durante a viagem.

A vibração de corpo inteiro pode impactar no conforto, no desempenho e na saúde dos indivíduos, dependendo da magnitude, da forma de onda e dos tempos de exposição. O ser humano é mais susceptível aos efeitos da VCI quando essas se encontram na faixa de frequência de 1 a 20 Hz aproximadamente, embora muitos dados obtidos em medição incluam frequências altas (MANSFIELD, 2004).

Existem ainda as vibrações que causam enjoos no ser humano. Estas se localizam na faixa das baixas frequências, geralmente inferiores a 1 Hz (ISO, 1997). Mesmo que todo o corpo seja afetado por esses estímulo, a faixa de frequência e os impactos ao organismo são distintos daqueles encontrados para a VCI. Sendo assim, esse tipo de vibração geralmente é abordado separadamente.

## 3.2 Normativas

Na seção 3.2 abordam-se as normativas vigentes que tratam da vibração de corpo inteiro. A norma internacional ISO 2631 - 1 e as normas nacionais NHO 09, NR 09 e NR 15 estabelecem os procedimentos técnicos para a avaliação da VCI.

### 3.2.1 ISO 2631 - 1

A norma ISO 2631: Vibração mecânica e choque - Avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro teve sua primeira versão publicada em 1978 e passou por duas revisões, a primeira em 1985 e a segunda em 1997 quando passou a ser dividida em 5 partes:

- Parte 1: Requisitos gerais
- Parte 2: Vibração em edifícios (1 Hz a 80 Hz)
- Parte 3: Avaliação da exposição à vibração de corpo inteiro vertical do eixo z no intervalo de frequência de 0,1 a 0,63 Hz
- Parte 4: Diretrizes para a avaliação dos efeitos da vibração e do movimento de rotação no conforto de passageiros e da tripulação em sistemas de transporte com guias fixas
- Parte 5: Método para avaliação de vibração contendo múltiplos choques

Sendo que a Parte 3: Avaliação da exposição à vibração de corpo inteiro vertical do eixo z no intervalo de frequência de 0,1 a 0,63 Hz foi retirada de vigor pela organização.

A parte 1 - Requisitos gerais (1997) tem como propósito a definição de métodos de quantificação da vibração de corpo inteiro em relação a:

- Saúde humana e conforto;
- Probabilidade da percepção de vibração;
- Incidência de enjoos.

Segundo a normativa, os veículos, sejam eles responsáveis pelo transporte sobre a terra, pelo mar ou pelo ar, o maquinário usado na indústria ou agricultura e as atividades industriais expõem as pessoas à vibrações mecânicas periódicas, esporádicas e transientes que podem interferir no conforto, nas atividades e na saúde humana. A parte 1 não possui limites de exposição à vibração, mas três de seus anexos possuem informações acerca dos efeitos da vibração na saúde, no conforto e percepção e na incidência de enjoos.

Ainda indica os principais fatores que se combinam para determinar o nível em que uma exposição à vibração é aceitável e define os princípios dos métodos prioritários de montagem de transdutores para se determinar a exposição humana. A faixa de frequência considerada é de 0,5 Hz a 80 Hz para saúde, conforto e percepção, e 0,1 a 0,5 Hz para enjoos.

Alerta-se que a vibração é por vezes um fenômeno complexo, apresentando diferentes frequências, direções e mudando ao longo do tempo. Os efeitos da vibração podem ser múltiplos e a exposição à VCI causa uma complexa distribuição dos movimentos oscilatórios e forças no corpo humano.

São apresentadas diversas repostas à vibração em diferentes indivíduos em virtude de seus efeitos biológicos. A VCI causa o surgimento de sensações como a de desconforto, influencia na capacidade humana, na saúde e segurança.

A normas usadas como referência para a elaboração desta foram:

- ISO 2041: 1990, Vibração e choque - Vocabulário.
- ISO 5805: 1997, Vibração mecânica e choque - Exposição humana - Vocabulário.
- ISO 8041:1990, Resposta humana à vibração - instrumentação de medição.
- IEC 1250: 1995, Eletroacústica - Filtros de bandas oitavas e oitavas fracionadas.

A normativa estabelece que a mensuração da magnitude da vibração deve ser feita em termos de aceleração primeiramente. Nos casos de frequências muito baixas e baixas magnitudes de vibração, como ocorre em edifícios ou barcos, a mensuração pode ser feita em termos de velocidade e depois traduzida em termos de aceleração.

Quanto a direção da vibração, deve se utilizar um sistema de coordenadas com origem no ponto considerado de entrada da vibração no corpo humano. O sistemas de coordenadas básicos são mostrados na Fig. (5).

Os transdutores devem estar localizados de modo a indicar a vibração na interface entre o corpo humano e a fonte de sua vibração. A vibração transmitida ao corpo deve ser medida na superfície entre o corpo e esta interface.

As principais áreas de contato entre o corpo e a superfície da vibração nem sempre são evidentes. A parte 1 da norma usa três áreas principais para pessoas sentadas: a superfície dos assentos, o encosto do banco e os pés. As medições na superfície de suporte do assento devem ser feitas por baixo das tuberosidades isquiais. As medições nas costas do assento devem ser feitas na área principal de apoio do corpo. As medições nos pés devem ser feitas na superfície onde estes são repousados de forma recorrente. Para a posição deitada, a presente parte da norma considera estar a superfície de suporte sob a pélvis, as costas e a cabeça. Em qualquer caso, a localização do ponto de medição deve ser relatada.

Os processos de avaliação da exposição definidos nesta parte inicial da norma, incluem métodos de tratamento do sinal da vibração em função do tempo e da sua representação por bandas de frequências.

Quanto a duração da medição, a norma estabelece que essa deve ser suficiente para assegurar uma precisão estatística razoável e para assegurar também que a vibração medida é típica da exposição que está a sendo avaliada. Nos casos em que a exposição completa consistir em vários períodos com diferentes características, essa parte da normativa prevê que seja realizada uma análise separada para cada um desses. Ademais, a duração da exposição deve ser indicada.

No método básico de avaliação da vibração definido em norma as medições devem se feitas em termos do valor eficaz (RMS) ponderado da aceleração expresso em metros por segundo quadrado  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$  para a aceleração linear (de translação) e em radianos por segundo quadrado  $\left(\frac{rad}{s^2}\right)$  para a aceleração angular (de rotação). A aceleração eficaz ponderada deve ser calculada de acordo com a Eq. (3.1).

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \cdot \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

Onde:

$a_w(t)$  = Aceleração ponderada em função do tempo;

$T$  = Duração da medição.

Para a definição da aplicabilidade do método básico de avaliação deve ser calculado o fator de crista. O fator de crista é definido por esta parte da norma como o módulo da relação entre o valor de pico (máximo ou mínimo) do sinal da aceleração ponderado em frequência e o seu valor eficaz. O valor de pico deve ser determinado no intervalo de tempo da medição, ou seja, no tempo  $T$  usado para a determinação do valor eficaz.

Tal fator permite determinar se o método básico descrito acima é adequado para descrever a severidade dos efeitos vibração nos seres humanos. Quando a vibração analisada possuir um fator de crista menor ou igual a 9, o método básico é suficiente para a avaliação. Nos casos em que o fator crista é superior a 9, o método básico é abordado como insuficiente, sendo necessária a aplicação de métodos alternativos com a determinação do valor eficaz em contínuo ou o valor de quarta potência da dose de vibração, ambos descritos na normativa. A utilização do método básico em casos onde o fator de crista é superior a 9 pode subestimar os efeitos da vibração (choques ocasionais, vibração transitória).

O método da dose vibratória de quarta potência é mais sensível a picos do que o método básico de avaliação. O valor da dose vibratória de quarta potência (VDV), é expresso em metro por segundo elevado a 1,75  $\left(\frac{m}{s^{1,75}}\right)$  ou em radianos por segundo elevado a 1,75  $\left(\frac{rad}{s^{1,75}}\right)$ , e definido na Eq. (3.2).

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (3.2)$$

Onde:

$a_w(t)$  = Aceleração instantânea ponderada em frequência;

$T$  = Duração da medição.

Se a exposição à vibração consiste em dois ou mais períodos,  $i$ , de diferentes amplitudes, o valor da dose da vibração para a exposição total deve ser calculado pela raiz quarta da soma da quarta potência das doses individuais de vibração (Eq. 3.3).

$$VDV_{total} = \left( \sum_i VDV_i^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.3)$$

Nos casos onde um dos métodos adicionais é também utilizado, os valores da avaliação básica e o da avaliação adicional devem ser indicados.

A norma retrata que a forma como a vibração afeta a saúde, o conforto, a percepção e o enjoo devido ao movimento é dependente da direção da vibração. Sendo assim são requeridas diferentes ponderações em frequência para os diferentes eixos coordenados. Uma ponderação em frequência especial é incluída para avaliação de vibrações de baixa frequência que ocasionam enjoo devido ao movimento.

O valor eficaz total da aceleração ponderada, determinada a partir das medições em coordenadas ortogonais, é calculado de acordo com a Eq. (3.4).

$$a_v = (k_x^2 \cdot a_{wx}^2 + k_y^2 \cdot a_{wy}^2 + k_z^2 \cdot a_{wz}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

Onde:

$a_{wx}, a_{wy}, a_{wz}$  = Valores eficazes das acelerações ponderadas relativas aos eixos ortogonais x, y, z, respectivamente;

$k_x, k_y, k_z$  = Fatores de multiplicação ( $k_x = 1, 4; k_y = 1, 4; k_z = 1$ ).

Além dos métodos de avaliação e ponderação em frequência a normativa apresenta orientações para a saúde, para o conforto e percepção e para o enjoo ao movimento. A seção referente aos efeitos e recomendações para vibração periódica, aleatória e transiente em pessoas saudáveis, expostas à vibrações no corpo inteiro durante viagens, no trabalho e atividades de lazer serão detalhadas no presente trabalho (orientações para a saúde). Uma vez que aplica-se principalmente a pessoas sentadas, já que não são conhecidos os efeitos da vibração sobre a saúde de pessoas em pé, inclinadas ou deitadas, e que estas são objetos de estudo deste trabalho. As recomendações referem-se a vibrações na faixa de frequência entre 0,5 Hz e 80 Hz que são transmitidas, através do assento, ao corpo sentado como um todo.

Segundo a norma, a literatura relevante sobre os efeitos da vibração de longa duração e de elevada amplitude sobre o corpo, indicam um aumento do risco à saúde da coluna dorsal e do sistema nervoso. Alerta-se que uma tensão mecânica excessiva pode contribuir para processos degenerativos nos segmentos lombares. É datado ainda que a exposição do corpo à vibração pode também piorar certos distúrbios patológicos da coluna vertebral. Em uma probabilidade menor admite-se a possibilidade de que o sistema digestivo, o sistema genital/urinário, e os órgãos reprodutivos femininos sejam afetados.

A avaliação do efeito da vibração na saúde deve ser feita independentemente segundo cada eixo e em relação à aceleração, ponderada em frequência, mais elevada determinada segundo qualquer eixo sobre o assento.

A normativa apresenta uma figura referente à zonas de vigilância e orientação no que se refere à saúde em seu anexo B (Fig. 10). As linhas tracejadas são um dos indicativos. Para exposições abaixo da zona compreendida por elas, não foram claramente documentados efeitos na saúde, porém a zona compreendida entre elas indica a necessidade de se tomarem precauções no que se refere a potenciais riscos para a saúde e acima dessa zona são previstos riscos para a saúde. Tal recomendação refere fundamentalmente a uma gama de 4 a 8 horas de exposição, como destacado na Fig. (10). Os períodos menos longos, segundo a norma, devem ser tratados com extrema cautela. Outro indicativo é mostrado com as linhas pontilhadas e ambos indicativos coincidem para períodos de 4 a 8 horas, que são aqueles para os quais existe a maioria das observações ocupacionais.

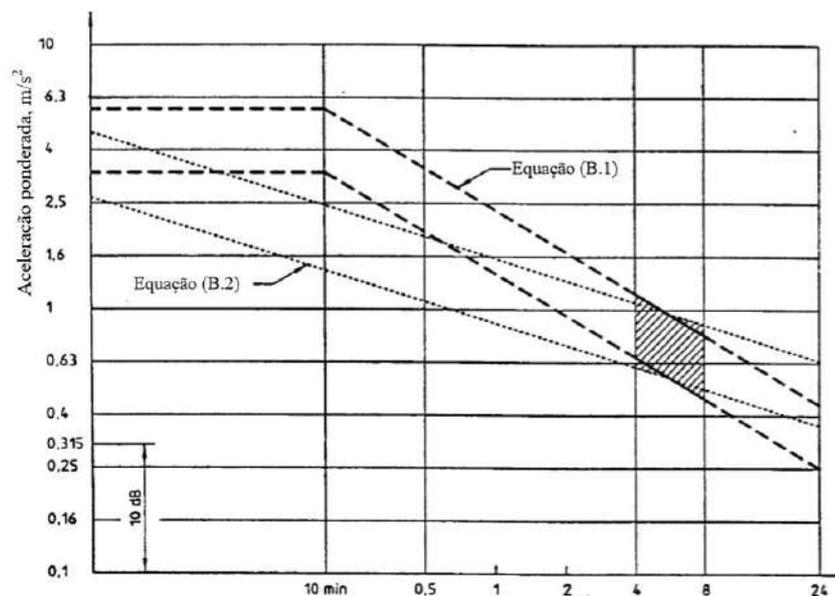


Figura 10: Zonas de vigilância e orientação no que se refere à saúde.  
Fonte: (ISO, 1997).

Para caracterizar a exposição ocupacional diária a vibrações, a aceleração  $a_w$ , ponderada em frequência, correspondente a 8 horas pode ser medida ou calculada de acordo com a Eq. (3.1), tomando 8 h para o período de tempo T.

## 3.2.2 Normas de Higiene Ocupacional

As Normas de Higiene Ocupacional tem como objetivo estabelecer os limites de tolerância e os critérios técnicos dos equipamentos utilizados nas avaliações de riscos ocupacionais. São elaboradas pela Fundacentro e disponibilizam metodologias para avaliações ocupacionais, sendo essenciais para orientar o controle dos agentes de riscos ambientais.

### 3.2.2.1 NHO 09

A norma de Higiene Ocupacional 09 é uma norma técnica nacional que estabelece critérios para a avaliação da exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro que possa vir a ocasionar problemas à saúde do trabalhador, entre os quais aqueles relacionados à coluna vertebral. A normativa se aplica a exposição ocupacional à VCI, em quaisquer situações de trabalho em que a vibração seja transmitida ao corpo como um todo, tanto o trabalhador estando na posição sentada, quanto em pé. É importante ressaltar que esta é citada pela norma regulamentadora 15 (NR 15).

As referências normativas utilizadas na elaboração da NHO 09 são:

- ISO 2631-1 (1997) – Vibração mecânica e choque - Avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro. Parte 1: Requisitos gerais.
- ISO 8041 (2005) – Resposta humana à vibração - Instrumentação de medição.

Os parâmetros para a avaliação da exposição à VCI correspondem à aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*) e ao valor da dose de vibração resultante (VDVR), ambos serão detalhados mais à frente.

As acelerações consideradas na norma são ponderadas em frequência segundo as curvas de ponderação  $W_k$  para o eixo “z” e  $W_d$  para os eixos “x” e “y”, conforme estabelecido na norma ISO 2631-1: 1997. As curvas de ponderação estão representadas na Fig. (11) e os eixos de medição estão ilustrados na Fig. (5).

Os critérios de avaliação da exposição ocupacional são baseados nos valores de referência descritos na norma. O nível de ação é o valor acima do qual devem ser tomadas medidas preventivas que visem minimizar a probabilidade de que as exposições de caráter ocupacional à VCI causem danos à saúde do trabalhador e que o limite de exposição não seja ultrapassado. O limite de exposição é o parâmetro que representa as condições sob as quais acredita-se que a maioria dos trabalhadores possa ser exposta repetidamente sem sofrer danos à saúde.

O nível de ação para a exposição ocupacional diária à VCI estabelecido pela norma equivale a um valor de aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*) de  $0,5 \frac{m}{s^2}$  e a um valor da dose de vibração resultante (VDVR) de  $9,1 \frac{m}{s^{1,75}}$ . O limite de exposição

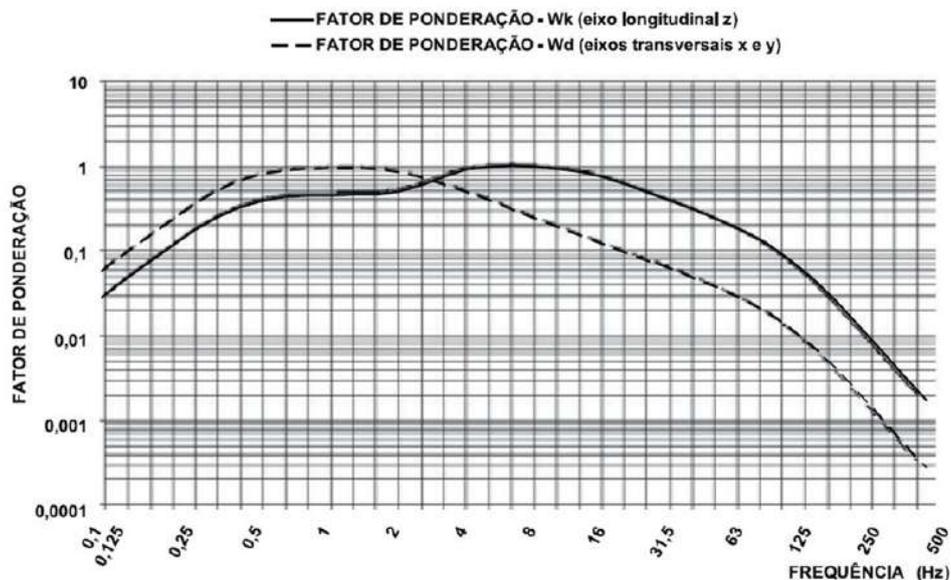


Figura 11: Curvas de ponderação em frequência para VCI.  
 Fonte: (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013).

ocupacional diária à VCI, adotado na norma corresponde a um valor da aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*) de  $1,1 \frac{m}{s^2}$  e ao valor de dose de vibração resultante (VDVR) de  $21 \frac{m}{s^{1,75}}$ .

Quanto aos procedimentos de avaliação a norma prevê que no processo de abordagem dos locais e das condições de trabalho sejam colhidas informações técnicas e administrativas acerca dos veículos, máquinas, equipamentos e demais parâmetros relacionados às condições de trabalho avaliadas. Essa informação em conjunto com observações de campo são base para a identificação dos chamados "*grupos de exposição similar*" e para a caracterização da exposição dos trabalhadores.

A avaliação da vibração deve ser feita de forma representativa da exposição de todos os trabalhadores considerados no estudo. Com a identificação dos "*grupos de exposição similar*", a norma estabelece que não se faz necessário que todos os trabalhadores sejam avaliados. Sendo as avaliações realizadas cobrindo parte dos trabalhadores do grupo que constitui a exposição "típica".

A NHO 09 determina a necessidade de uma avaliação preliminar da exposição que consiste em reunir informações que permitam caracterizar as situações analisadas em uma das seguintes possibilidades:

- Convicção técnica de que as situações de exposição sejam aceitáveis, pressupondo-se que estejam abaixo do nível de ação;
- Convicção técnica de que as situações de exposição sejam inaceitáveis, pressupondo-se que estejam acima do limite de exposição;
- Incerteza quanto à aceitabilidade das situações de exposição analisadas.

A convicção técnica deve vir do conhecimento e experiência profissional do responsável pela avaliação. Se, após a análise preliminar, houver a convicção técnica de que as situações analisadas são aceitáveis, em princípio a normativa estabelece que não se faz necessária a avaliação quantitativa, ficando recomendado, no mínimo, a manutenção das condições verificadas.

Quando, pela análise preliminar, houver a convicção técnica de que as situações de exposição são inaceitáveis, de forma inicial a norma prevê que não são necessárias avaliações quantitativas, sendo obrigatória a adoção de medidas de controle.

No caso de após a análise preliminar, permanecer a incerteza da aceitabilidade da condição de exposição analisada ou quando houver a necessidade de se obter o valor da aceleração resultante de exposição normalizada e do valor da dose de vibração resultante para qualquer fim, a NHO 09 determina a realização da avaliação quantitativa.

A avaliação quantitativa deverá ser feita com a utilização de sistemas de medição que permitam a determinação da aceleração resultante de exposição normalizada e do valor da dose de vibração resultante, os parâmetros para a avaliação da exposição diária do trabalhador.

Estes sistemas, segundo a norma, devem ser compostos basicamente de medidores integradores e de transdutores, incluindo acelerômetros triaxiais de assento, quando necessário. Os transdutores devem ser posicionados nos pontos de medição e os procedimentos de avaliação devem interferir o mínimo possível nas condições operacionais que caracterizam as condições de trabalho em estudo.

Os equipamentos a serem utilizados na avaliação da exposição ocupacional à VCI devem ser integradores, devem atender aos requisitos da Norma ISO 8041 (2005) e estar ajustados para o atendimento dos seguintes parâmetros:

- Circuitos de ponderação para corpo inteiro:

$W_k$  para o eixo “z”

$W_d$  para os eixos “x” e “y”

- Fator de multiplicação “ $f_j$ ” em função do eixo considerado:

$$f_x = 1,4$$

$$f_y = 1,4$$

$$f_z = 1,0$$

- Medição em RMS

A seleção do acelerômetro deve ser feita levando em conta o tipo de montagem necessária para o devido posicionamento e fixação do transdutor e as características do

sinal a ser medido. Na avaliação da exposição de vibrações transmitidas por assentos é necessário a utilização de equipamentos específicos para tal finalidade.

Os medidores, acelerômetros e calibradores deverão ser periodicamente calibrados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), por laboratórios credenciados pelo Inmetro para esta finalidade ou por laboratórios internacionais, desde que reconhecidos pelo Inmetro.

As medições da vibração transmitida ao corpo devem ser feitas em três direções de um sistema de coordenadas ortogonais de forma simultânea, utilizando-se acelerômetro do tipo triaxial. Deve-se selecionar o ponto de medição de forma que os resultados sejam representativos da exposição.

A norma ainda estabelece que antes do início das medições, o trabalhador deve ser informado:

- A respeito do objetivo do trabalho e de como serão realizadas as medições;
- De que a medição não deve interferir em sua conduta de trabalho e em suas atividades habituais, solicitando que o mesmo mantenha sua rotina normalmente;
- Sobre a fragilidade do equipamento de medição, sendo alertado para evitar pancadas ou puxões nos cabos e no acelerômetro;
- De que os dispositivos devem ser manuseados apenas pelo avaliador.

A abordagem descrita na norma considera a decomposição da exposição diária em partes, cada uma delas composta por uma componentes de exposição, que pode se repetir ou não, com o objetivo facilitar o processo de coleta de dados. A identificação das componentes de exposição é feito por meio de uma avaliação qualitativa minuciosa da condições de trabalho.

O procedimento de medição deve ser iniciado quando o trabalhador começa a atividade correspondente à componente de exposição a ser avaliada e deve ser interrompido quando a componente for finalizada para a obtenção do valor da aceleração média resultante correspondente a componente ( $amr_{ik}$ ). O processo deve ser repetido cobrindo um número suficiente de amostras ( $s$ ) que possibilite a obtenção de um resultado representativo de aceleração resultante de exposição parcial ( $arep_i$ ).

A  $arep_i$  de cada componente de exposição é determinada pela média aritmética das acelerações, colhidas cada vez que a componente se repete, conforme a Eq. (3.5).

$$arep_i = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s amr_{ik} \quad (3.5)$$

Sendo:

$amr_{ik}$  = Aceleração média resultante relativa à  $k$ -ésima amostra selecionada dentre as

repetições da componente de exposição "i";

s = Número de amostras da componente de exposição "i" que foram mensuradas.

O procedimento deve ser replicado para cada componente de exposição identificada anteriormente. Nos casos em que a componente em análise ocorra somente uma vez na jornada de trabalho, o resultado de  $amr_{ik}$  já corresponde ao valor de  $arep_i$  referente a componente de exposição "i".

Posteriormente, procede-se a obtenção da aceleração resultante de exposição ( $are$ ) representativa da exposição ocupacional diária com o cálculo da Eq. (3.6).

$$are = \left( \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^m n_i \cdot arep_i^2 \cdot T_i \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

Onde:

$arep_i$  = Aceleração resultante de exposição parcial representativa da exposição ocupacional relativa à componente de exposição "i";

$n_i$  = Número de repetições de cada componente ao longo da jornada de trabalho;

$T_i$  = Tempo de duração da componente de exposição "i";

T = Tempo de duração da jornada diária de trabalho;

m = Número de componentes de exposição que compõem a exposição diária.

Finalmente, é possível calcular a aceleração resultante de exposição normalizada ( $aren$ ), que corresponde à aceleração resultante de exposição, convertida para uma jornada padrão de 8 horas diárias, conforme a Eq. (3.7).

$$aren = are \cdot \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (3.7)$$

Sendo:

are = Aceleração resultante da exposição, representativa da exposição ocupacional diária;

T = Tempo de duração da jornada diária de trabalho;

$T_0$  = 8 horas ou 480 minutos.

Segundo a NHO 09, o valor da dose de vibração ( $VDV_j$ ), na literatura técnica, é tratado como um parâmetro complementar na análise da exposição ocupacional, quando há a ocorrência de picos no sinal de vibração. A normativa então adota o uso deste parâmetro por conduta preventiva como mais um critério de julgamento da exposição enfatizando a necessidade de sua determinação em todos os casos.

De forma análoga, com a medição correspondente a determinada componente de exposição obtêm-se um valor de dose de vibração ( $VDV_{jik}$ ) para o tempo de medição  $T_k$  relativo à k-ésima amostra da componente de exposição "i", sendo o índice "j" igual a "x", "y", ou "z", em função do eixo que estiver sendo considerado. O procedimento ainda deve ser repetido para cobrir um número de amostras suficientes permitindo a obtenção

de um resultado representativo da componente de exposição “i” para cada eixo avaliado ( $VDV_{ji}$ ), determinado pela Eq. (3.8).

$$VDV_{ji} = \left[ \sum_{k=1}^s (VDV_{jik})^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3.8)$$

Sendo:

$VDV_{jik}$  = Valor de dose de vibração relativa à k-ésima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição “i” ;

s = Número de amostras da componente de exposição “i” que foram mensuradas.

Em seguida, deve ser obtido o valor da dose de vibração da exposição parcial  $VDV_{expjik}$ , representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j”, relacionado à componente de exposição “i” aplicando-se a Eq. (3.9).

$$VDV_{expji} = f_j \cdot VDV_{ji} \cdot \left( \frac{T_{exp}}{T_{amos}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.9)$$

Sendo:

$VDV_{expji}$  = Valor da dose de vibração medido no eixo “j” relativo a componente de exposição “i”;

$T_{exp}$  = Tempo total de exposição à vibração, ao longo de toda a jornada de trabalho, decorrente da componente de exposição “i” em estudo. Corresponde ao número de repetições da componente vezes o tempo de sua duração;

$f_j$  = Fator de multiplicação em função do eixo considerado ( $f = 1,4$  para os eixos “x” e “y” e  $f = 1,0$  para o eixo “z”);

$T_{amos}$  = Tempo total utilizado para a medição das “s” amostras representativas da componente de exposição “i” em estudo:

$$T_{amos} = \sum_{k=1}^s T_k \quad (3.10)$$

A determinação do valor da dose de vibração da exposição ( $VDV_{expj}$ ), representativo da exposição ocupacional diária em cada eixo de medição, deve ser feita por meio da Eq. (3.11).

$$VDV_{expj} = \left[ \sum_{i=1}^m (VDV_{expji})^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3.11)$$

Sendo:

$VDV_{expji}$  = Valor da dose de vibração da exposição representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j” relativa à componente de exposição “i”, sendo “j” igual a “x”, “y” ou “z”;

m = Número de componentes de exposição que compõem a exposição diária.

Em seguida, deve ser feita a determinação do valor da dose de vibração resultante (VDVR), considerando a resultante dos três eixos de medição, de acordo com a Eq. (3.12). O valor da dose de vibração resultante corresponde ao valor de dose de vibração representativo da exposição ocupacional diária, considerando a resultante dos três eixos de medição.

$$VDVR = \left[ \sum_j (VDVexp_j)^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3.12)$$

Onde:

$VDVexp_j$  = Valor de dose de vibração da exposição representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j”, sendo “j” igual a “x”, “y” ou “z”.

Em cada componente de exposição, é necessário determinar e registrar os valores das acelerações e as doses medidas, os tempos efetivos de duração e o número de repetições. A duração da jornada do trabalhador sob análise deve também ser registrada.

Os valores obtidos em medição devem ser comparados àqueles referentes ao nível de ação e limite de exposição e deve ser verificada a necessidade de adoção de medidas preventivas ou corretivas.

A norma ainda apresenta um quadro (Fig. 12) com considerações técnicas e atuação recomendada em função da aceleração resultante de exposição normalizada ( $aren$ ) ou do valor de dose de vibração resultante (VDVR), encontrado na condição de exposição avaliada.

$aren$ ( $m/s^2$ )	VDVR ( $m/s^{1,75}$ )	Consideração técnica	Atuação recomendada
0 a 0,5	0 a 9,1	aceitável	No mínimo manutenção da condição existente.
> 0,5 a < 0,9	> 9,1 a < 16,4	acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas.
0,9 a 1,1	16,4 a 21	região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.
acima de 1,1	acima de 21	acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas.

Figura 12: Critérios de julgamento e tomada de decisão apresentados pela NHO 09.  
Fonte: (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013).

### 3.2.3 Normas regulamentadoras

As normas regulamentadoras são documentos de uso obrigatório por parte de empresas públicas e privadas que possuem empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho. Elaboradas pelo Ministério do Trabalho, as atuais 36 normativas estabelecem procedimentos que buscam assegurar a saúde e a segurança dos trabalhadores durante a realização de suas atividades laborais.

#### 3.2.3.1 NR 9

O anexo 1 – Vibrações da NR 9 estabelece critérios para a prevenção de doenças e distúrbios ocupacionais causados pela exposição à VMB e VCI, na esfera do PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais). Cabe aos empregadores, a adoção de medidas de prevenção e controle das vibrações mecânicas danosas à saúde e à segurança dos trabalhadores. O objetivo de tais medidas é a eliminação dos riscos envolvidos no desenvolvimento das atribuições de trabalho, e quando não possível, a obtenção dos menores níveis de exposição factíveis. Fatores como aspectos de postura e esforços físicos devem ser considerados na eliminação ou minimização dos riscos.

Ao empregador também é conferida a responsabilidade de comprovação da aplicação de medidas efetivas que busquem a erradicação ou redução dos níveis vibratórios durante as atividades de manutenção preventiva e corretiva dos veículos, máquinas e equipamentos.

A título de conhecimento e avaliação dos riscos deve ser feita a avaliação preliminar das exposições à VMB e VCI, de acordo com a orientação abordada no anexo. O estudo preliminar deve embasar as medidas a serem tomadas e caso esse seja insuficiente para a tomada de decisão quanto a necessidade de implantação das medidas, deve-se proceder para a avaliação quantitativa.

A análise quantitativa deve ser representativa da exposição e abranger aspectos organizacionais e ambientais que caracterizem o trabalhador em sua jornada de trabalho. Os procedimentos de avaliação quantitativa de VMB e VCI devem estar em conformidade com as Normas de Higiene Ocupacional da Fundacentro. Os equipamentos utilizados nos processos avaliativos devem permitir a determinação dos valores de aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*) e do valor da dose de vibração resultante (VDVR), que são os parâmetros representativos da exposição do trabalhador. Para fins de caracterização da exposição, deve-se avaliar os dois parâmetros.

Caso haja a obtenção de níveis de exposição ocupacional diários superiores ao nível de ação deve-se adotar medidas de caráter preventivo. As medidas preventivas devem abordar a avaliação periódica da exposição, orientação dos trabalhadores sobre os riscos envolvidos e o uso correto dos equipamentos, além do direito de comunicação aos superiores se observados níveis anormais de vibração, vigilância da saúde dos colaboradores

com foco nos efeitos da exposição à vibração e implantação de procedimentos laborais que permitam a redução dos níveis de exposição à vibrações mecânicas.

As abordagens descritas acima não excluem a adoção de outras medidas que se façam necessárias de acordo com as particularidades da condição de trabalho de cada colaborador.

As situações em que os níveis de exposição ocupacional diários ultrapassem o limite de exposição exigem a adoção de medidas corretivas. As medidas de correção devem contemplar no mínimo uma das medidas a seguir, obedecida a hierarquia prevista na norma:

- No caso de exposição às VCI, modificação do processo ou da operação de trabalho, podendo envolver: o reprojeto de plataformas de trabalho; a reformulação, a reorganização ou a alteração das rotinas ou dos procedimentos e organização do trabalho; a adequação de veículos utilizados, especialmente pela adoção de assentos antivibratórios; a melhoria das condições e das características dos pisos e pavimentos utilizados para circulação das máquinas e dos veículos;
- Redução do tempo e da intensidade de exposição diária à vibração;
- Alternância de atividades ou operações que gerem exposições a níveis mais elevados de vibração com outras que não apresentem exposições ou impliquem exposições a menores níveis.

Assim como as medidas preventivas, as corretivas descritas não impedem a implementação de outras que se façam necessárias ou que sejam recomendadas em virtude das particularidades do exercício das profissões.

### 3.2.3.2 NR 15

A NR 15 aborda atividades e operações insalubres. De acordo com a norma, as condições de trabalho que envolvem exposição à vibrações são consideradas insalubres se comprovadas através de inspeção do local de trabalho. A averiguação avalia os limites de exposição ocupacional diária à VCI.

Quando legitimado o exercício laboral em tal condição, é assegurado ao trabalhador o ganho de adicional incidente sobre o salário mínimo de sua região e conforme o grau de insalubridade. Em caso de exposição à mais de um fator de insalubridade, o adicional recebido é correspondente ao grau mais elevado, não havendo acúmulo dos valores.

A eliminação ou neutralização da insalubridade pode ser feita com a utilização de EPI (Equipamento de Proteção Individual) e/ou com a adoção de medidas que preservem o ambiente de trabalho dentro dos níveis de tolerância. Após a comprovação da elimi-

nação ou neutralização através de perícia do órgão responsável, tem-se a interrupção do pagamento do adicional.

O anexo VIII - Vibrações estabelece os critérios para a a caracterização de trabalho insalubre decorrente das exposições à VMB e VCI. Segundo esse, os procedimentos técnicos para avaliação quantitativa são determinados pelas Normas de Higiene Ocupacional da Fundacentro. São consideradas insalubres as condições de trabalho em que se supere quaisquer dos limites de exposição ocupacional diária a VCI:

- Valor da aceleração resultante de exposição normalizada de  $1,1 \frac{m}{s^2}$ ;
- Valor da dose de vibração resultante de  $21,0 \frac{m}{s^{1,75}}$ .

As situações que ultrapassam esses valores são consideradas insalubres de grau médio e as caracterizações devem gerar laudos técnicos.

# 4 Metodologia

No capítulo referente a metodologia, aborda-se inicialmente a questão relativa ao questionário de anamnese que serviu de base para a seleção da amostra que será descrita logo em seguida. Posteriormente, são apresentados os equipamentos utilizados, sua forma de uso, informações técnicas e aquisição de dados. A seção subsequente refere-se ao planejamento experimental, que compreende a descrição do veículo no qual serão realizados os experimentos, bem como as rotas selecionadas e por fim a planilha de planejamento experimental desenvolvida.

## 4.1 Questionário de Anamnese

A elaboração do questionário de anamnese mostrado na Fig. (13), teve como objetivo obter uma caracterização qualitativa com relação motoristas da empresa co-participante.

Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica



Os dados abaixo contribuirão com a pesquisa, devendo ser preenchidos completamente e com sinceridade.

---

**1 - DADOS PESSOAIS**

Nome completo: \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_ Sexo:  Masculino  Feminino

Altura: \_\_\_\_\_ m | Peso: \_\_\_\_\_ kg

---

**2 - HÁBITOS E ANTECEDENTES INDIVIDUAIS**

Você é fumante?  Sim  Não | Quantos cigarros por dia? \_\_\_\_\_

Você ingere bebida alcoólica?  Sim  Não | Frequência: \_\_\_\_\_

Pratica atividade física?  Sim  Não | Qual? \_\_\_\_\_ | Frequência: \_\_\_\_\_

Você já ficou afastado do trabalho por motivos de saúde (Atestado, etc)?  Sim  Não | Especifique o motivo: \_\_\_\_\_

Possui outro emprego?  Sim  Não | Qual a sua função no outro emprego? \_\_\_\_\_

---

**3 - ASPECTOS LOMBARES E PSICOLÓGICOS**

Você sente dores na coluna?  Sim  Não | As dores são recorrentes?  Sim  Não | Grau de incômodo das dores:  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10

A vibração em seu assento durante sua jornada de trabalho lhe incomoda ?  
 Sim  Não

Grau de incômodo:  
 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10

Você possui algum familiar com histórico de doença na coluna?  
 Sim  Não

Qual descrição melhor representa a quantidade de estresse que você tem durante um dia normal de trabalho?  
 Sem estresse  Estresse leve ocasional  Estresse moderado frequente  
 Estresse elevado frequente  Estresse elevado constante

O que lhe incomoda mais: o ruído ou a vibração?  
 Ruído  Vibração

O que gera mais desconforto para você?  
A vibração no assento devido ao motor ou a vibração nas mãos e braços devido ao volante?  
 Vibração no assento  Vibração nas mãos e braços

Você tem sentido dores no corpo?  
 Sim  Não

Marque um X na região onde se concentram as dores em seu corpo:

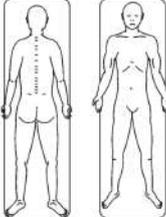



Figura 13: Questionário de anamnese.

Com o suporte dos supervisores de operação da empresa, os questionários foram aplicados em cinco terminais atendidos pela concessionária espalhados pelas seguintes cidades-satélites: Núcleo Bandeirante, Samambaia Sul, Riacho Fundo 1 e Recanto das Emas. Ao total 182 motoristas responderam o questionário, sendo assim possível a obtenção de características inerentes à estes trabalhadores no que se refere a sua saúde, hábitos, sedentarismo, dores e incômodos sentidos durante o desenvolvimento de suas atividades laborais.

## 4.2 Amostragem

A definição da amostra representativa refere-se a determinação da quantidade de experimentos requeridos que forma que se obtivesse uma avaliação representativa. Nesse caso utiliza-se o Teorema do Limite Central (TLC). O TLC diz que considerando uma amostra de dimensão  $n$  de uma população  $X$ , com valor médio  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ , se a dimensão da amostra for suficientemente grande ( $n \geq 30$ ), a distribuição de amostragem da média pode ser aproximada por uma distribuição normal com médias e variâncias iguais a da população e esta aproximação não depende da forma da distribuição da população (MARTINS, 2006).

Foi definida então um amostra de medições com  $n=37$  a serem realizadas em 30 condutores, de forma que em alguns destes foram realizados mais de um experimento para

enriquecimento das discussões apresentadas no capítulo 5.

## 4.3 Equipamentos utilizados

### 4.3.1 Percentual de gordura corporal

Para a aferição do percentual de gordura corporal dos motoristas utilizou-se o monitor de gordura corporal da fabricante AVANUTRI, apresentado na Fig. (14). Este equipamento usa a tecnologia bioelétrica de impedância (BIA) para estimar a gordura corporal, o percentual de água corpórea, massa muscular e idade metabólica de adultos.



Figura 14: Monitor de gordura corporal.

O método de impedância bioelétrica consiste na passagem de uma corrente elétrica de baixo nível através do corpo do indivíduo e a oposição à passagem da corrente é medida por um analisador de impedância bioelétrica. Este é um método não-invasivo e rápido largamente empregado em situações de campo, como é o caso do presente estudo.

Em grandes volumes totais de água corporal, a corrente passa com maior facilidade, visto que os eletrólitos são excelentes condutores de corrente elétrica. E a resistência à passagem de corrente é maior nos indivíduos com grandes percentuais de gordura, posto que o tecido adiposo é um mau condutor de corrente elétrica devido à sua baixa quantidade de água.

Antes da realização da medição, o equipamento foi configurado de acordo com as particularidades de cada um dos condutores. Sendo inseridos, inicialmente, os valores de altura do indivíduo em cm, massa em kg, idade e sexo.

Os motoristas avaliados se posicionaram com braços e pernas ligeiramente afastados e segurando os eletrodos, mostrados em prata na Fig. (14), de forma que as mãos estivessem alcançando toda superfície destes. Os braços e o corpo ainda formando um ângulo de 90 °, conforme a Fig. (15).



Figura 15: Medição do percentual de gordura.

Ao apertar a tecla avaliar localizada no canto superior direito do equipamento, como pode-se ver na Fig. (14), em poucos minutos se obteve o resultado. Como resposta da medição, têm se no visor, os valores de percentual de gordura corpórea, porcentagem de água no corpo, quilocalorias, porcentagem de massa muscular e idade metabólica.

#### 4.3.2 Vibração de Corpo Inteiro

Para a coleta dos dados experimentais de VCI, foi-se utilizado o *Seat Pad* modelo Sen 027, acelerômetro triaxial de assento específico para a aquisição de dados de vibração de corpo inteiro, em conjunto com o HVM 100 (*Human Vibration Measurement 100*), ambos fabricados pela Larson Davis (Fig. 16).

O HVM 100 possui uma gama de aplicações, sendo necessário realizar a configuração do equipamento em função da aplicação usada. Após a inicialização do aparelho, no menu *SETUP* definiu-se o modo operacional como sendo corpo inteiro. Navegando o cursor para baixo, ainda neste mesmo menu, foi necessário selecionar o tempo de amostragem que se refere a quantidade de tempo que os dados são coletados e calculados antes



(a) Seat Pad modelo Sen 027.

(b) HVM 100.

Figura 16: Equipamentos utilizados.

de uma nova média ser iniciada. Neste caso foi setada a condição *SLOW*, sendo a resposta lenta obtida com um detector exponencial de 1 segundo.

Continuando na navegação, foi escolhido o tempo de armazenamento, que define a taxa na qual os dados serão armazenados, igual a 2 minutos. Posteriormente, ligou-se o auto-salvamento para garantir a armazenagem dos dados ao longo do tempo. Segue-se para a definição das curvas de ponderação em cada um dos eixos de medição conforme a ISO 2631 - 1 e a ISO 8041 (Fig. 11). Em concordância com a normativa, determinou-se as curvas de ponderação para os eixos X, Y e Z, respectivamente como  $W_d$ ,  $W_d$  e  $W_k$ .

No menu *TOOLS*, seleciona-se o transdutor a ser usado de acordo com o tipo de acelerômetro. Com o uso do *Seat Pad* modelo Sen 027, seleciona-se a função ICP sugerida pela fabricante, que fornecerá uma corrente constante de 28 volts para cada um dos três canais de entrada. Para essa função foi realizado um controle antes do início de cada experimento, uma vez que na tela do equipamento é mostrado um monitoramento da energia fornecida ao transdutor. Quando o transdutor não está conectado, a tensão no visor varia de 25 a 26 volts e quando há conexão, para o acelerômetro em questão, esta é de 2 a 5 volts.

Em seguida, neste mesmo menu, selecionou-se a unidade de exibição dos valores de aceleração medidos como  $\frac{m}{s^2}$  e define-se a função posterior denominada de integração como nenhuma. Esta é capaz de converter os dados de aceleração em velocidade e deslocamento sendo aplicada apenas a outro modo operacional.

Seguidamente, foram definidos os fatores de multiplicação exigidos nas normativas descritos na seção 3.2 para cada eixo de medição. Os fatores são:  $f_x = 1,4$ ;  $f_y = 1,4$  e  $f_z = 1,0$ . A próxima função é responsável por setar as medições em RMS para cada um dos eixos e logo após é selecionada a taxa de transferência de descarregamento dos dados para o computador.

A função posterior, de impressão do histórico, foi habilitada como "sim" para realizar o descarregamento dos dados armazenados durante todo o tempo de medição. As opções que vem logo após são referentes, respectivamente, a apagar os arquivos gravados e a configuração usada, ambas foram desabilitadas com a seleção da opção "não". Por último, no menu em questão, são selecionados os cabeçalhos, o idioma do instrumento e a data, que foi modificada de acordo com o dia da realização dos experimentos.

No menu *RANGE*, a primeira função, chamada de auto-range, é projetada para trabalhar com um sinal de estado estacionário e como não se trata do caso de aplicação do presente trabalho foi designada como nula para cada eixo. A posteriori, são selecionados os ganhos para cada eixo de medição. O equipamento mostra em seu visor indicações de quando se deve aumentar ou diminuir os ganhos para adequar a aquisição de dados, com o símbolo "?" e "\*", respectivamente. Nos experimentos deste trabalho foram usados ganhos de 20 dB para todos os eixos.

Ainda neste menu, seguem-se as funções usadas para realizar a calibração dos canais individuais com um calibrador conectado ao acelerômetro. Sendo necessário definir a sensibilidade do acelerômetro, que é realizada na função seguinte de acordo com os dados mostrados pelo fabricante e que estão mostrados na Tab. (1).

Tabela 1: Sensibilidade do acelerômetro por eixo.

Sensibilidade X	$1,008 \cdot 10^{-2} \frac{mV}{g}$
Sensibilidade Y	$9,960 \cdot 10^{-1} \frac{mV}{g}$
Sensibilidade Z	$1,005 \cdot 10^{-2} \frac{mV}{g}$

Desta forma foi finalizada a configuração do equipamento atribuindo um nome para a mesma. Todas as opções anteriormente destacadas foram salvas no equipamento e utilizadas em cada um dos experimentos. Com o HVM configurado, este foi conectado diretamente ao *Seat Pad*, por meio da ligação do fio azul ao furo localizado na parte superior do HVM, como destacado em vermelho na Fig. (17).



Figura 17: Conexão do *Seat Pad* e do HVM.

O *Seat Pad* foi então colocado sobre o assento destinado ao motorista no ônibus, de modo a garantir a correta posição dos eixos de medição conforme especificado pela ISO 2631 (Fig. 18). Para a fixação do acelerômetro de assento usou-se pequenas tiras de fita adesiva, que em nada alteram a medição, mas garantem a estabilização do equipamento. O fio que conecta o *Seat Pad* e o HVM foi passado por uma abertura existente entre o assento e o encosto do banco.

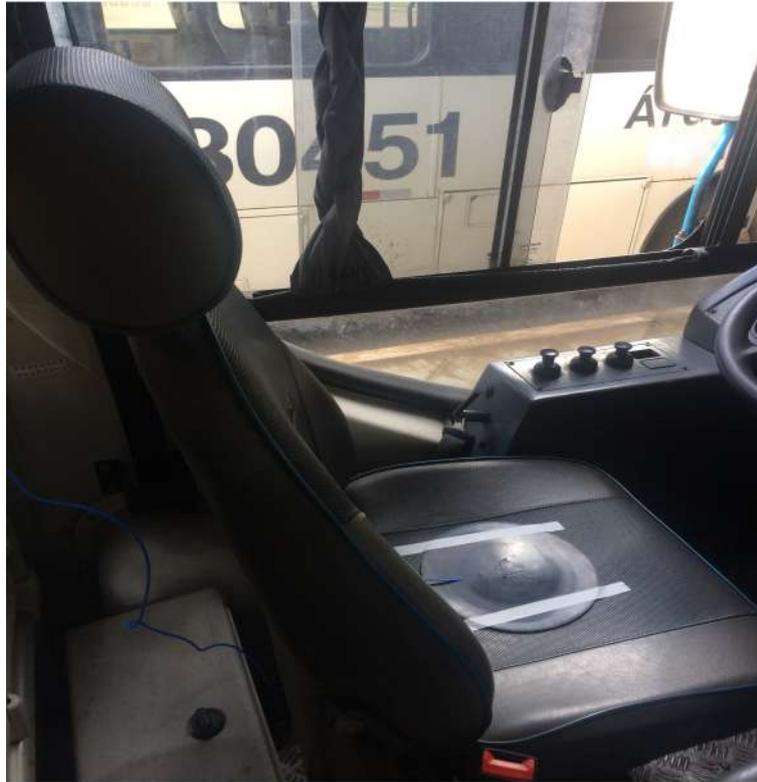


Figura 18: Fixação do *Seat Pad*.

Ao passo que o condutor sentou-se para iniciar a sua jornada de trabalho típica, como ilustra a Fig. (19 a) e ligou o veículo, foi apertada a tecla *RUN* do HVM, destacada em vermelho na Fig. (19 b), iniciando assim a aquisição de dados. O *Seat Pad* se conecta diretamente com o HVM transmitindo em tempo real os dados advindos da medição.

Após o término da medição com o desligamento do veículo ao fim da viagem, a tecla *RUN* do HVM foi pressionada novamente, pausando assim a medição. Os dados armazenados foram então descarregados no *software* Blaze®, que fornece os resultados da medição em termos da aceleração média resultante ( $amr$ ) requerida pela NHO 09, além dos valores de dose da vibração (VDV) também requisitados pela normativa.

A interface mostrada pelo Blaze® após o descarregamento dos dados é mostrada na Fig. (20). Cada arquivo deste corresponde aos dados referentes a um intervalo de dois minutos de medição. O valor denominado  $a_{eq}$  soma pelo *software*, destacado em amarelo na Fig. (20), corresponde ao valor de  $amr_{ik}$ , que é usado na Eq. (3.5) para o cálculo do valor de  $arep$  e das variáveis posteriores apresentadas na subseção 3.2.2 que caracterizam a exposição ocupacional do trabalhador à VCI. Já os valores de VDV para



(a)

(b)

Figura 19: Procedimento experimental

cada eixo de medição, mostrados em verde na Fig. (20), correspondem aos valores de  $VDV_{jik}$ , requeridos na Eq. (3.8) e no cálculo das variáveis posteriores que completam à a avaliação da exposição diária ocupacional à VCI.

HVM100 Registo de Ficheiro 0								
HVM Informação geral								
HVM Registos de Ficheiros	0							
Número de Série	02252							
Modelo	LARSON DAVIS HVM100							
Versão de Firmware	1.33							
HVM Nome do Ficheiro	TCC2LARISSA							
Utilizador								
Descrição da medição								
Local								
Nota								
Config.								
Modo de operação	Corpo Inteiro	Gravação Automática	Ligado					
Média	Lenta	Tempo de Gravação (hh:mm)	00:02					
Acelerómetro	ICP	Integração	Nenhum					
Referência da exposição	2.8 m/s <sup>2</sup>							
Ponderação em frequência	X: Wd HorizontalXY	Y: Wd HorizontalXY	Z: Wk VerticalZ					
Factor multiplicativo	X: 1.40	Y: 1.40	Z: 1.00					
Ganho (dB)	X: 20	Y: 20	Z: 20					
Sensibilidade	X: 100.8 mV/g	Y: 99.60 mV/g	Z: 100.5 mV/g					
Saída AC/DC	X: DC: RMS	Y: DC: RMS	Z: DC: RMS					
Níveis Globais								
Tempo de Medição	00:01:00							
Valor	Canal X	Canal Y	Canal Z	Soma	Unidades			
Aeq	.29600	.33600	.70200	.94000	m/s <sup>2</sup>			
Amax	.79500	.88200	1.3800	1.8200	m/s <sup>2</sup>			
Amp	1.7300	1.7200	3.7400	4.0900	m/s <sup>2</sup>			
Amin	.06400	.08270	.23300	.30000	m/s <sup>2</sup>			
Aeq(k)	.41500	.47100	.70200		m/s <sup>2</sup>			
VDV	1.3100	1.4400	2.9000	3.4400	m/s <sup>2</sup>			
CFmp	13.300	14.200	14.500	12.800	dB			
A(8)				.03210	m/s <sup>2</sup>			
Nome do Ficheiro de Histórico no Tempo TCC2LARISSA Registrar 0								
Tempo de Medição	28 fev 2019 10:16:53							
Unidades	m/s <sup>2</sup>							
HORA	X RMS	PICO	Y RMS	PICO	Z RMS	PICO	S RMS	PICO
10:16:54	.37600	.76900	.23400	.56200	.40000	1.1400	.73700	1.3500

Figura 20: Interface do software Blaze®.

## 4.4 Planejamento Experimental

### 4.4.1 Descrição do veículo

O veículo estudado é da classe ônibus básico, segundo a NBR 15.570 (Transporte — Especificações técnicas para fabricação de veículos de características urbanas para transporte coletivo de passageiros) e é mostrado na Fig. (21). Possui carroceria da marca CAIO de modelo Apache VIP e seu chassi é o OF-1721 fabricado pela Mercedes Benz.



(a) Vista lateral.



(b) Vista frontal.

Figura 21: Veículo estudado.

Seu peso bruto total (PBT) é de 17 toneladas e o comprimento mede 13,2 metros. Em termos de capacidade de passageiros, este comporta 70 pessoas em média, sendo contabilizados os indivíduos sentados e aqueles que viajam em pé.

### 4.4.2 Rotas selecionadas

A concessionária co-participante fez uma restrição com relação as rotas à serem estudadas. Estas só poderiam ser selecionadas em viagens com origem em apenas um dos terminais, definido previamente pela empresa. Tal restrição limitou significativamente a gama de possibilidades à serem selecionadas.

De acordo com a tabela horária da empresa referente ao terminal previamente disponibilizado pela mesma, as rotas de estudo foram definidas. Foram selecionadas 7 rotas

que embora tenham como local de saída o mesmo terminal possuem locais de chegada variados e percorrem vias distintas. As rotas serão identificadas com letras maiúsculas para a garantia do sigilo da empresa co-parceira.

Os mapas que serão mostrados posteriormente, tem marcadores verdes nos locais de partida das rotas e marcadores laranjados nos locais de chegada. Aqueles que possuem apenas um marcador correspondem à linhas circulares, que partem e chegam a um mesmo local. Neste último caso, as setas auxiliam na descrição do trajeto. Aquelas de cor verde, apontam o trajeto de ida, enquanto as de cor laranja delineiam a volta.

A rota A, mostrada na Fig. (22), é uma linha circular que parte da cidade Núcleo Bandeirante e atende àqueles passageiros com destino ao Parkshopping e ao Setor de Armazenagem e Abastecimento Norte (SAAN). O seu percurso possui cerca de 52,02 km com 87 possíveis pontos de parada para entrada e/ou saída de passageiros. A duração média de uma viagem nesse rota é de 90 minutos. A via principal pela qual a rota é realizada é a Estrada Parque Núcleo Bandeirante (EPNB).

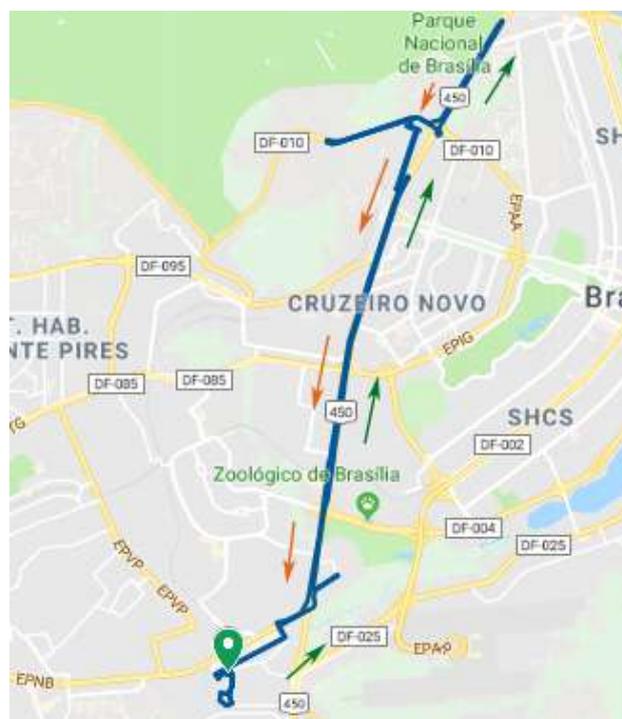


Figura 22: Mapa da Rota A.

A rota B, apresentada na Fig. (23), parte do Núcleo Bandeirante e tem como destino a Rodoviária do Plano Piloto passando pela via EPGU (Estrada Parque Guará) e em seguida pelo eixo L sul. O seu percurso possui uma extensão de 17,95 km realizado em média durante 40 minutos. São possíveis 26 paradas pelo caminho.



Figura 23: Mapa da Rota B.

A rota C (Fig. 24) possui uma extensão de 33,83 km. Seu ponto de partida é o Núcleo Bandeirante e destina-se a Asa Norte. A duração média da realização dessa viagem é 80 minutos. A via principal do percurso é a EPNB, ainda se atravessa a L2 sul e norte e é realizado o atendimento a Universidade de Brasília. Há 70 pontos de paradas possíveis.

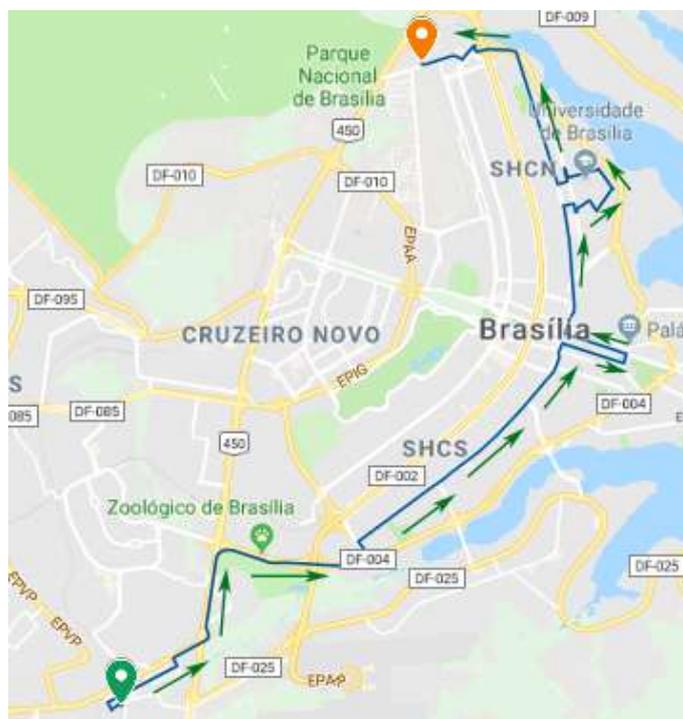


Figura 24: Mapa da Rota C.

A rota D (Fig. 25) é uma linha circular que opera na cidade do Núcleo Bandeirante e atende a população com destino ao Cruzeiro e ao setor militar urbano. Seu percurso é realizado na Estrada Parque Indústria e Abastecimento (EPIA). A extensão é de 40,7 km realizado em média durante 100 minutos e com 82 pontos de paradas.

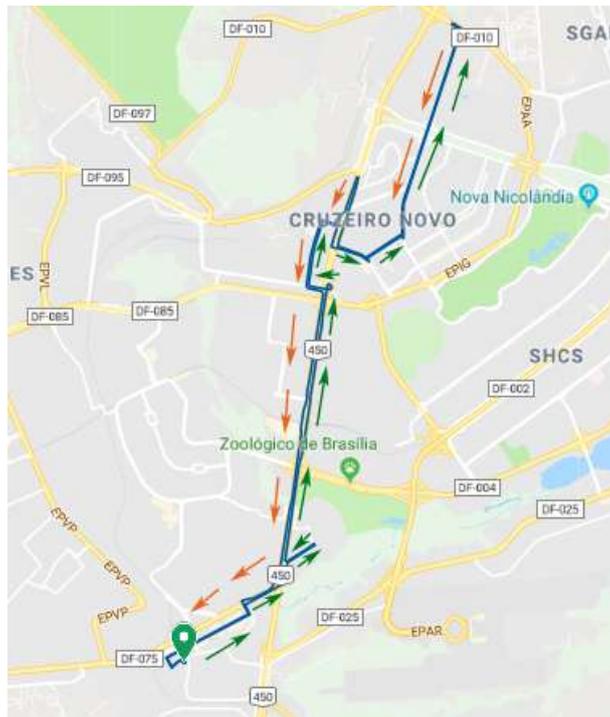


Figura 25: Mapa da Rota D.

A rota E apresentada na Fig. (26) tem como destino a Asa Norte passando pela EPNB e pelos trechos da W3 sul e norte. A duração média do tempo de viagem é 60 minutos com quilometragem igual a 25,01. São permitidos ao todo 51 pontos de parada.

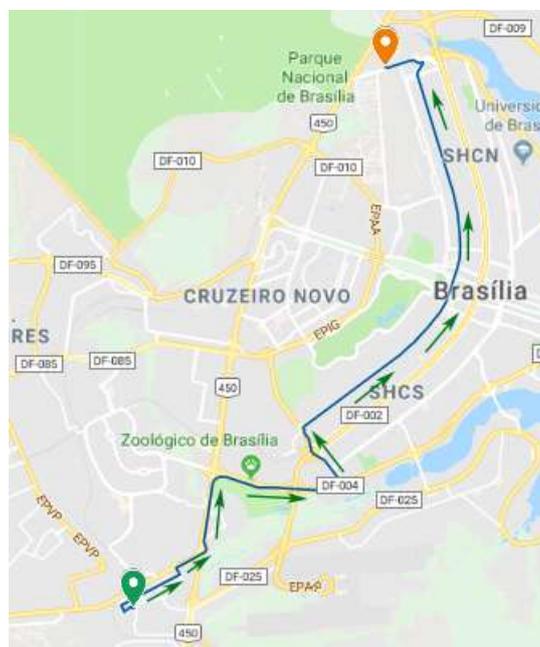


Figura 26: Mapa da Rota E.

A rota F (Fig. 27) tem uma extensão de 47,65 km e como destino a cidade de Ceilândia, porém ainda realiza o atendimento a cidade do Guará. Com partida do Núcleo Bandeirante, o tempo médio despendido na viagem é de 120 minutos e são possíveis 98



### 4.4.3 Planilha de planejamento experimental

Para a confecção da planilha de planejamento experimental foram feitas análises com o objetivo de viabilizar as discussões e conclusões que seriam realizadas após as medições. Estas foram realizadas com relação às variáveis do problema: rotas e motoristas, possíveis de serem selecionados em virtude das restrições.

A apreciação com relação às rotas foi feita de maneira qualitativa subjetiva, com o auxílio dos supervisores e coordenadores responsáveis pela operação da empresa co-participante. Estes profissionais, contratados de longa data da empresa, lidam em seu cotidiano laboral diretamente com motoristas e cobradores. Tem o conhecimento das rotas mais críticas com relação às condições de pavimento e por meio da reclamação dos condutores. Buscou-se a seleção de rotas críticas e também de rotas consideradas em melhores condições para enriquecer as discussões efetuadas após as medições.

A análise com relação aos motoristas foi realizada com base nas respostas obtidas nos questionários de anamnese. Dentro do possível, foram selecionados motoristas com diferentes valores para IMC (Índice de Massa Corporal), com diferentes queixas de dores, graus de incômodo e também aqueles não acusaram sensações de dores.

Após as duas análises descritas à cima, foi possível definir as rotas e motoristas que serão abordados pelas medições experimentais. De posse da tabela horária da empresa co-participante, foram obtidas as informações detalhadas acerca dos horários de realização das viagens e motoristas escalados para realizá-las. A definição completa foi então realizada e está apresentada na planilha de planejamento experimental mostrada na Tab. (3). São apresentadas as rotas, motoristas, o local de chegada, visto que o local de saída é o mesmo, o percurso, a quilometragem, a duração da viagem e o horário de início.

Destaca-se que atendendo à requisito da concessionária para a permissão do estudo não foram divulgados dados que permitam a identificação da empresa, bem como a identidade de seus colaboradores.

Ao todo, foram realizados 37 experimentos conforme o procedimento descrito na seção 4.3 e de acordo com as normativas apresentadas na seção 3.2. Os resultados obtidos e a discussão a cerca destes são apresentados no capítulo 5.

Tabela 3: Planilha de planejamento experimental.

Medição	Rota	Motorista	Local de chegada	Percurso	Km	Tempo de viagem [min]	Horário início
001	A	21	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	08:53
002	A	12	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	16:25
003	A	25	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	09:29
004	A	29	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	11:17
005	A	5	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	16:45
006	A	18	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	06:25
007	A	20	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	10:05
008	A	13	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	12:29
009	B	2	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	09:45
010	B	4	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	11:05
011	B	15	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	15:05
012	B	19	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	09:05
013	B	3	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	11:45
014	B	18	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	08:10
015	B	8	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	18:46
016	B	6	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	05:55
017	C	17	Asa Norte	EPNB	33,83	80	07:20
018	C	22	Asa Norte	EPNB	33,83	80	10:00
019	C	9	Asa Norte	EPNB	33,83	80	15:20
020	C	6	Asa Norte	EPNB	33,83	80	06:50

Medição	Rota	Motorista	Local de chegada	Percurso	Km	Tempo de viagem [min]	Horário início
021	C	7	Asa Norte	EPNB	33,83	80	06:00
022	C	7	Asa Norte	EPNB	33,83	80	08:20
023	C	7	Asa Norte	EPNB	33,83	80	11:20
024	D	20	Núcleo Bandeirante	EPIA	40,70	90	08:10
025	D	8	Núcleo Bandeirante	EPIA	40,70	90	17:00
026	D	13	Núcleo Bandeirante	EPIA	40,70	90	10:30
027	E	14	Asa Norte	EPNB	25,01	60	09:00
028	E	26	Asa Norte	EPNB	25,01	60	11:00
029	E	11	Asa Norte	EPNB	25,01	60	17:05
030	F	16	Ceilândia (QNR)	EPTG	47,65	120	17:00
031	F	1	Ceilândia (QNR)	EPTG	47,65	120	13:00
032	G	23	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	09:15
033	G	10	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	12:15
034	G	27	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	18:15
035	G	24	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	07:45
036	G	28	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	13:45
037	G	30	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	16:45

# 5 Resultados e Discussão

## 5.1 Resultados do questionário de anamnese

O questionário de anamnese mostrado na Fig. (13) foi respondido por 182 motoristas, dentre os cerca de 900 condutores que compõe o quadro de funcionários da empresa co-participante. Tais respostas permitiram a realização de uma análise qualitativa dos motoristas contratados pela empresa.

É notório que a categoria dos motoristas em si é composta em sua vasta maioria por condutores do sexo masculino, o que foi comprovado com o resultado obtido no questionário. Cerca de 99% dos entrevistados são do sexo masculino, sendo apenas 1% a representatividade feminina em face dos abordados pela pesquisa.

Com relação à idade, pode-se notar uma grande variabilidade entre os condutores da concessionária. Em seu conjunto de motoristas, a empresa possui colaboradores de 25 a 67 anos. Como mostrado na Fig. (29), a maioria dos contemplados pelo questionário tem idade entre 36 e 45 anos (43%). Estes são seguidos por 24% que possuem de 46 a 55 anos. Os condutores mais jovens, com faixa etária de 25 a 35 anos correspondem a 15% dos motoristas e os de maior idade (entre 56 e 67 anos) representam 7% da categoria desta empresa.

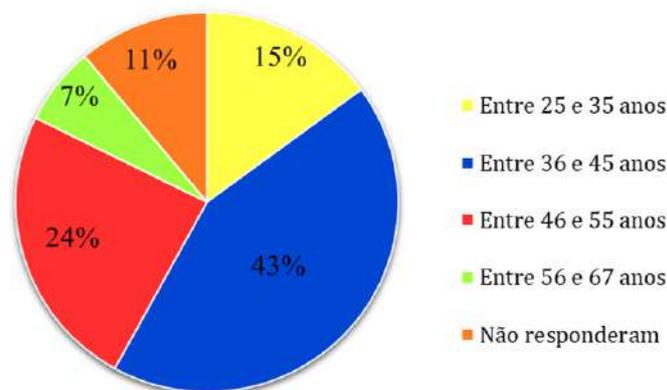


Figura 29: Faixa etária dos motoristas.

A partir dos valores de altura e massa fornecidos pelos colaboradores, foi possível calcular os seus respectivos valores de IMC. Esse indicador é um padrão internacional

para o cálculo da obesidade de um indivíduo adotado pela OMS (Organização Mundial da Saúde). O cálculo do IMC é dado pela Eq. (5.1).

$$IMC = \frac{M}{h^2} \quad (5.1)$$

Sendo:

M = Massa do indivíduo em kg;

h = Altura do indivíduo em m.

A classificação dada pela OMS de acordo com os valores calculados é mostrada na Tab. (4).

Tabela 4: Classificação de IMC

IMC	Classificação
< 18,5	Abaixo do peso
18,5 - 24,9	Peso normal
25,0 - 29,9	Acima do peso
30,0 - 34,9	Obesidade grau 1
35,0 - 39,9	Obesidade grau 2
≥ 40	Obesidade grau 3

Fonte: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/dicas/215\\_obesidade.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/dicas/215_obesidade.html)>

Os valores calculados de IMC forneceram dados alarmantes com relação aos motoristas que responderam ao questionário, como aponta a Fig. (30). Os profissionais que estão acima do peso apresentaram o percentual mais elevado, de acordo com a classificação da Tab. (4), abrangendo 40% do total. Aqueles que possuem um IMC considerado normal acumularam 31% das respostas e não foi registrado nenhum condutor abaixo do peso.

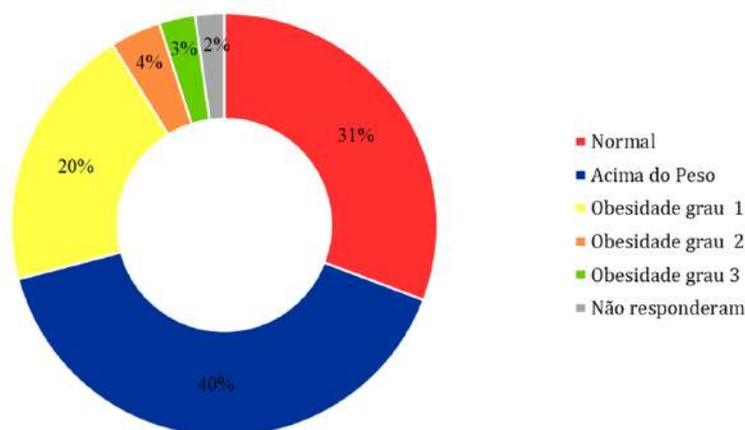


Figura 30: Índice de Massa Corporal.

Ainda foram registrados percentuais em todos os graus de obesidade apresentados pela classificação da OMS. Cerca de 20% dos motoristas que responderam ao questionário obtiveram IMC correspondente ao grau de obesidade 1. Com relação ao grau de obesidade 2, foi registrado um percentual de 4%. E o grau de obesidade 3 foi notado em 3% das respostas.

Quanto aos hábitos e antecedentes individuais, a grande maioria se declarou como não fumante, acumulando 90% das respostas. Sendo 10% dos motoristas restantes fumantes. Em se tratando do consumo de bebidas alcoólicas, as respostas foram mais equiparadas, com 53% dos profissionais respondendo que não consomem e 46% declarando o consumo em diversas frequências. O 1% restante não respondeu à esse questionamento.

A prática de atividade física é frequente entre os condutores da empresa participante, uma vez que a maioria das respostas (58%) indicou a realização de alguma atividade física em seu cotidiano. Sendo, 41% dos abordados pela pesquisa, sedentários e 1% optaram pela não resposta desta pergunta.

Em se tratando de afastamento do trabalho, 73% dos condutores não chegaram a se afastar de suas atividades laborais por motivos de saúde. Ao passo que os 27% restante já se ausentaram do trabalho por motivos médicos. Outro questionamento suscitado foi relacionado à possíveis outros empregos que os motoristas poderiam ter. A grande parte dos condutores afirmou não desempenhar outras funções (98%) e apenas 2% dos colaboradores confirmou que possui outro emprego.

No tocante as dores na coluna, uma porcentagem significativa de 44% dos motoristas acusou o sensação de dores nessa região do corpo. Dentre os condutores que afirmaram sentir dor, 58% informaram que tais dores são recorrentes em sua rotina, sendo essas dores para 42% dos colaboradores, esporádicas. Ainda foi solicitado àqueles que declararam sentir dores, a indicação do quanto essas os incomodavam. Essa indicação foi feita com o uso de uma escala de 1 até 10. Onde de 1 a 3 se considera uma dor leve, de 4 a 6, uma dor moderada e de 7 a 10, dores intensas. Para as dores na coluna, as maiores recorrências de respostas se concentraram nas regiões de dores moderada e intensas.

O questionamento com relação ao sentimento de incomodo proveniente da vibração mostrou que 49% dos condutores se sentem incomodados com a vibração experimentada no desenvolvimento de suas atividades laborais (Fig. 31). Contra 45% que dizem não se incomodar com a vibração. Sendo que 6% daqueles que responderam ao questionário deixaram esta pergunta em branco.

Entre aqueles que se sentem incomodados, o grau de incomodo apresentado teve maior percentual (47%) entre a faixa correspondente à dores intensas, sendo seguida pelo indicativo de dores moderadas com 31%.

Em se tratando de familiares com doenças na coluna, cerca de 67% dos motoristas relataram que não há acometimento dessas patologias em pessoas de sua família. 24% afirmaram que já houve algum caso de doenças relacionadas à coluna em familiares e os

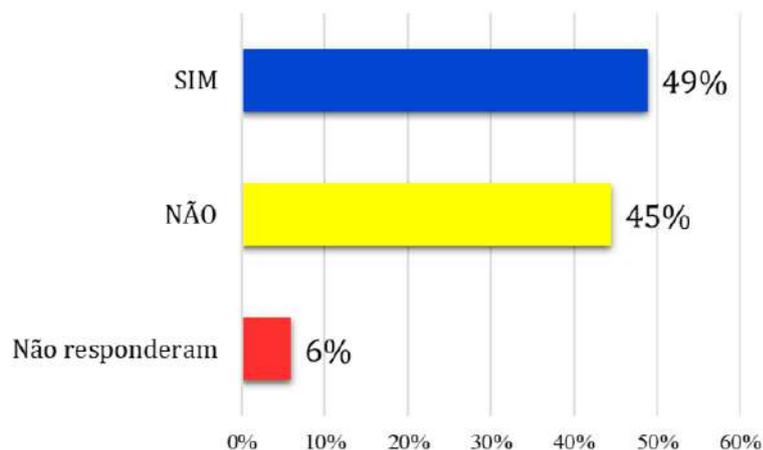


Figura 31: Sensação de desconforto devido à vibração.

9% restantes não responderam à este questionamento.

A percepção quanto ao estresse durante um dia normal de trabalho foi feita seguindo a seguinte classificação: sem estresse, estresse leve ocasional, estresse moderado frequente, estresse elevado frequente e estresse elevado constante.

Mais da metade das respostas obtidas consideraram a percepção de estresse em um dia normal de trabalho na classificação de estresse leve ocasional (Fig. 32). Sendo que 25% dos motoristas consideram que não sofrem de estresse em sua jornada diária, seguidos de 12% que consideram sofrer de estresse moderado frequente. Outros 5% dos condutores declaram que tem percepção de estresse elevado frequente e 2%, de estresse elevado constante. E 5% dos motoristas preferiu não responder à essa questão.



Figura 32: Percepção de Estresse durante a jornada de trabalho.

Quando questionados a respeito do que mais gera desconforto: a vibração no assento devido ao motor ou a vibração nas mãos e braços, 59% dos motoristas declarou que se sente mais incomodado com a vibração de corpo inteiro. Ao passo que 28% informou como mais incomoda a vibração nas mãos e braços, como mostrado na Fig. (33).

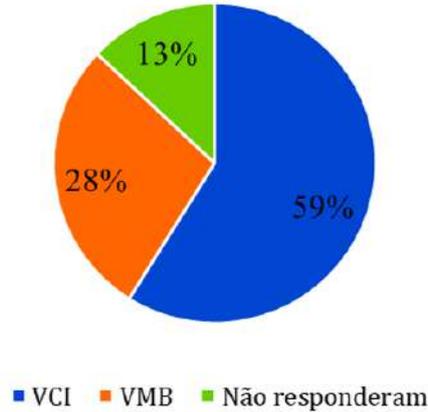


Figura 33: Incomodo devido à VCI e VMB.

O questionamento referente à sensação de dores no corpo apresentou um quadro bem dividido, onde 46% dos motoristas afirmou não estar sentindo dores no corpo e 45% deles, confirmou a sensação de dores no corpo. Entre aqueles que responderam positivamente, observou-se que a maioria disparada das marcações nas regiões doloridas com o uso da figura do corpo humano apresentada no questionário se concentrou na região lombar.

De uma forma geral, os resultados aqui apresentados reforçam a relevância da realização do presente trabalho. Aproximadamente a metade dos motoristas entrevistados se sentem incomodados com a vibração durante o desenvolvimento de duas atividades laborais e mais da metade destes se sentem mais desconfortáveis especificamente com a VCI, o que demonstra a importância da avaliação dos níveis de VCI à que estes condutores estão expostos.

O elevado percentual de motoristas que estão acima do peso ou apresentam algum grau de obesidade (67%), segundo a classificação da OMS, justificam a proposta de buscar uma correlação da exposição ocupacional com os valores de IMC e porcentagem de gordura corporal destes indivíduos.

## 5.2 Teste de normalidade

Visando validar a premissa do Teorema do Limite Central, de que se a dimensão da amostra for suficientemente grande ( $n \geq 30$ ), a distribuição de amostragem da média pode ser aproximada por uma distribuição normal realizou-se um teste de normalidade para os valores de *arep* mensurados nos 37 experimentos realizados.

O teste de normalidade escolhido foi o de Shapiro-Wilk, uma vez que este pode ser utilizado em amostras de qualquer tamanho. Este teste é baseado na estatística  $W$  dada pela Eq. (5.2), onde  $x_i$  corresponde aos valores da amostra em ordem crescente e  $n$  é o

número de amostras.

$$W = \frac{b^2}{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2]} \quad (5.2)$$

A constante b, mostrada na Eq. (5.2) é determinada conforme a Eq. (5.3), se n é par e de acordo com a Eq. (5.4) se n for ímpar. Os valores  $(a_{(n-i+1)})$  são constantes provenientes das médias, variâncias e covariâncias das estatísticas de ordem de uma amostra de tamanho n de uma distribuição normal, sendo todos estes tabelados.

$$b = \left[ \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} a_{n-i+1} \cdot (x_{(n-i+1)} - x_i) \right] \quad (5.3)$$

$$b = \left[ \sum_{i=1}^{\frac{n+1}{2}} a_{n-i+1} \cdot (x_{(n-i+1)} - x_i) \right] \quad (5.4)$$

Para a decisão com relação a normalidade dos dados, compara-se o valor calculado de W com o valor tabelado  $W_{n;\alpha}$ , para um determinado nível de significância ( $\alpha$ ). Sendo comumente utilizado o valor de 0,05 para o nível de significância. Caso o valor de W calculado seja menor que o mostrado na tabela mostrada na Fig. (34), rejeita-se o hipótese de normalidade dos dados (ACTION, 2019).

*An analysis of variance test for normality* 605

Table 6. Percentage points of the W test\* for n = 3(1)50

n	Level								
	0-01	0-02	0-05	0-10	0-50	0-90	0-95	0-98	0-99
36	0-912	0-922	0-935	0-945	0-970	0-984	0-986	0-989	0-990
37	0-914	0-924	0-936	0-946	0-970	0-984	0-987	0-989	0-990
38	0-916	0-925	0-938	0-947	0-971	0-984	0-987	0-989	0-990
39	0-917	0-927	0-939	0-948	0-971	0-984	0-987	0-989	0-991

Figura 34: Valores de  $W_{n;\alpha}$ . (ACTION, 2019).

Para este teste de normalidade, considerou-se um nível de significância de 0,05, para os 37 valores medidos, o que gera um valor de  $W_{n;\alpha} = 0,936$ , conforme hachurado em vermelho na Fig. (34).

A realização do teste de normalidade foi realizada com o auxílio do programa estatístico denominado *Past*. Os dados de *arep* foram inseridos na interface do programa como mostra a Fig. (35).

O resultado obtido com o teste é exibido em vermelho na Fig. (36). O valor de W calculado pelo programa é de 0,9842 que é maior do que o valor de  $W_{n;\alpha}$  (0,936), comprovando assim a normalidade dos dados. Ainda foi plotado o histograma referente aos dados em que se comprovou a normalidade (Fig.37 ).

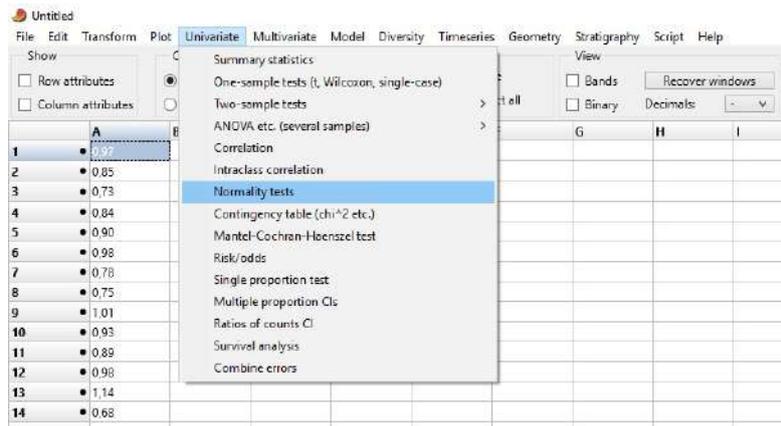


Figura 35: Interface do programa past.

Tests for normal distribution

	All
<b>N</b>	37
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9842
<b>p(normal)</b>	0,8655
<b>Anderson-Darling A</b>	0,212
<b>p(normal)</b>	0,8442
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,854
<b>Lilliefors L</b>	0,094
<b>p(normal)</b>	0,5516
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,56
<b>Jarque-Bera JB</b>	0,6066
<b>p(normal)</b>	0,7384
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,683

Figura 36: Resultado do teste de normalidade.

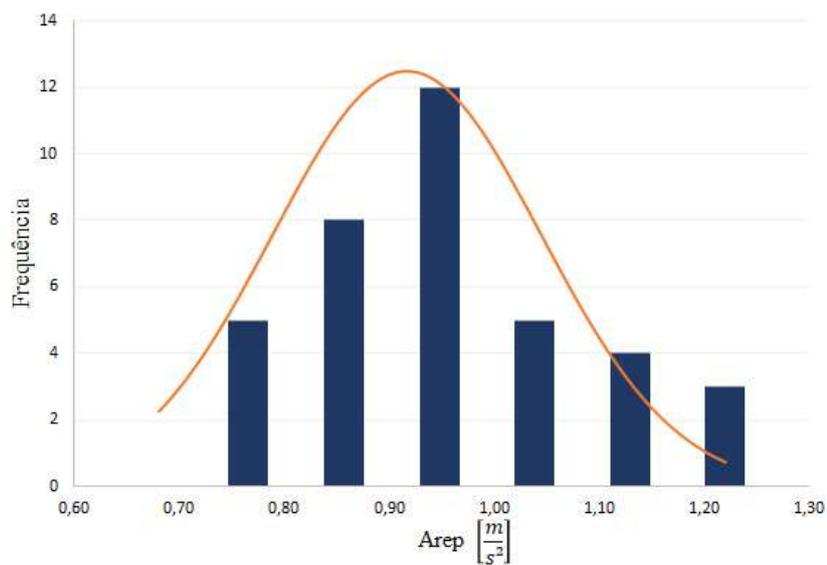


Figura 37: Histograma.

## 5.3 Resultados das medições experimentais

Os valores de aceleração média resultante ( $amr$ ) proveniente do HVM 100 permitem o cálculo dos valores da aceleração resultante de exposição parcial ( $arep$ ), segundo a Eq. (3.5) para cada medição mostrada na Tab. (3). Tais valores foram usados para as análises mostradas nas subseções: 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3.

O uso dos valores de  $arep$  para as discussões apresentadas nas três subseções seguintes se justifica pelo fato deste ser a aceleração que o condutor está submetido durante uma parcela de sua jornada diária, uma vez que este executa diferentes rotas ao longo de todo o dia típico de trabalho e nestes casos, as rotas foram analisadas separadamente.

### 5.3.1 Análise da influência das rotas

A primeira análise realizada para estudar a influência das rotas visa investigar quais percursos expõem de forma mais significativa os motoristas à VCI. Sendo assim, foi realizada uma análise geral das 7 rotas em estudo com base na média dos valores de  $arep$  obtida na totalidade das medições realizadas.

Todos os percursos tem como ponto de partida a cidade do Núcleo Bandeirante, porém se destinam a locais distintos passando assim por diferentes vias. Cada rota possui ainda uma extensão particular e em virtude desta é estipulado um tempo despendido para o cumprimento do percurso.

As medições hachuradas em azul na Tab. (5) foram utilizadas no cálculo do  $arep$  médio da rota A. Este é um percurso circular, com a maior extensão entre as rotas estudadas, de 52,02 km, que são percorridos em um tempo médio de 90 minutos.

Para a rota B, foram levadas em consideração as medições destacadas em amarelo na Tab. (5). Esta é uma rota que se destina a Rodoviário do Plano Piloto e que se destaca por ter a menor quilometragem dentre os percursos estudados, de 17,95 km, o que conseqüentemente resulta no menor tempo de viagem (40 min).

Os experimentos usados na estimativa do  $arep$  médio da rota C estão marcados em verde na Tab. (5). Este percurso tem como ponto final a Asa Norte e o tempo estimado gasto para o cumprimento da viagem é de 80 minutos. A sua quilometragem total é de 33,83 km.

Para o cálculo referente à rota D, foram utilizadas as amostras exibidas em vermelho na Tab. (5). Este percurso também é circular, análogo a rota A, entretanto possui uma menor extensão que esta última, de 40,70 km, sendo necessários 90 minutos para o seu cumprimento.

Já para a rota E, utilizaram-se as 3 amostras mostradas em cinza na Tab. (5). Esta rota destaca-se pelo quilometragem baixa se comparada aos outros percursos aqui

citados, sendo percorridos 25,01 km. Em virtude da baixa extensão, tem um dos menores tempos de viagem, sendo gastos 60 minutos para a chegada no seu ponto final, que é a Asa Norte.

Na estimativa relacionada a rota F, foram usadas as duas medições mostradas em rosa na Tab. (5). Este percurso apesar de não ser aquele de mais alta quilometragem, se destaca pelo elevado tempo de viagem, de 120 minutos. Destina-se à Ceilândia.

E finalmente, para a rota G, abordaram-se as 6 amostras destacadas em laranja na Tab. (5). O percurso finda na região do P SUL (Ceilândia).

Tabela 5: Experimentos usados na análise geral das rotas.

Medição	Rota	Motorista	Local de chegada	Percurso	Km	Tempo de viagem [min]	Horário início
001	A	21	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	08:53
002	A	12	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	16:25
003	A	25	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	09:29
004	A	29	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	11:17
005	A	5	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	16:45
006	A	18	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	06:25
007	A	20	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	10:05
008	A	13	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	12:29
009	B	2	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	09:45
010	B	4	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	11:05
011	B	15	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	15:05
012	B	19	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	09:05
013	B	3	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	11:45
014	B	18	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	08:10
015	B	8	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	18:46

Medição	Rota	Motorista	Local de chegada	Percurso	Km	Tempo de viagem [min]	Horário início
016	B	6	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	05:55
017	C	17	Asa Norte	EPNB	33,83	80	07:20
018	C	22	Asa Norte	EPNB	33,83	80	10:00
019	C	9	Asa Norte	EPNB	33,83	80	15:20
020	C	6	Asa Norte	EPNB	33,83	80	06:50
021	C	7	Asa Norte	EPNB	33,83	80	06:00
022	C	7	Asa Norte	EPNB	33,83	80	08:20
023	C	7	Asa Norte	EPNB	33,83	80	11:20
024	D	20	Núcleo Bandeirante	EPIA	40,70	90	08:10
025	D	8	Núcleo Bandeirante	EPIA	40,70	90	17:00
026	D	13	Núcleo Bandeirante	EPIA	40,70	90	10:30
027	E	14	Asa Norte	EPNB	25,01	60	09:00
028	E	26	Asa Norte	EPNB	25,01	60	11:00
029	E	11	Asa Norte	EPNB	25,01	60	17:05
030	F	16	Ceilândia (QNR)	EPTG	47,65	120	17:00
031	F	1	Ceilândia (QNR)	EPTG	47,65	120	13:00
032	G	23	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	09:15
033	G	10	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	12:15
034	G	27	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	18:15
035	G	24	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	07:45
036	G	28	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	13:45
037	G	30	Ceilândia (P SUL)	EPTG	36,97	90	16:45

O gráfico da Fig. (38) mostra a média (azul) e o desvio padrão (laranja) do valor de  $a_{rep}$  para cada uma das rotas. Pode-se notar que as três rotas que apresentaram valores mais elevados de aceleração resultante de exposição parcial foram a rota A, a rota E e a rota D, respectivamente. Sendo ainda que a rota G apresentou um valor médio de  $a_{rep}$  muito próximo da rota D. É importante destacar que as rotas A e E foram muito mencionadas pelos condutores que realizam viagens nas mesmas, principalmente no tocante as condições da via que se mostram muito precárias e com uma grande quantidade de buracos no asfalto.

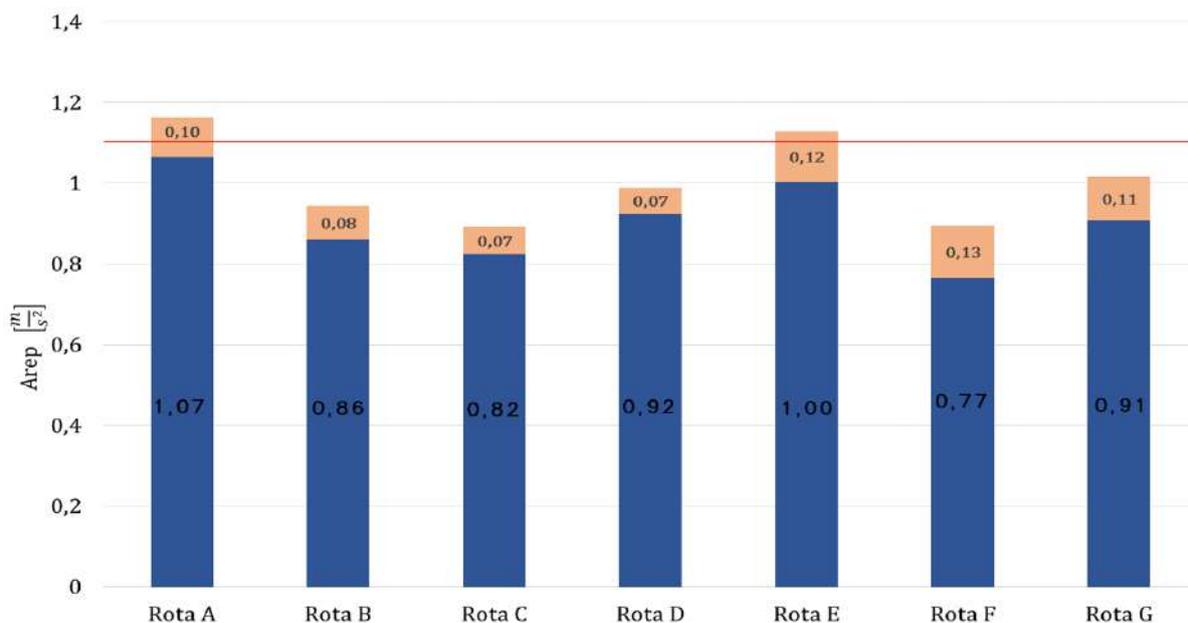


Figura 38: Análise geral de rotas.

Embora os efeitos das condições do asfalto na via sejam frequentemente analisados na literatura em termos do VDV, onde estudos apontam que à medida que a qualidade do asfalto diminui, aumenta o índice VDV (WALBER, 2009), mostra-se que existe influência da condição viária no nível de vibração à que os condutores estão expostos.

O trabalho de (FOULADI et al., 2011) corrobora com os resultados obtidos, uma vez que os valores de aceleração ponderadas em frequência para estradas consideradas esburacadas foram consideravelmente superiores àqueles obtidos em estradas classificadas como lisas por este estudo.

A rota G é destacada pelos motoristas por seu elevado tempo de viagem, sendo prevista a duração de uma hora e meia para realizar o percurso, podendo ainda variar de acordo com as condições de trânsito. Outro ponto observado é que os condutores que participaram do estudo realizando experimentos na rota em questão, possuem uma jornada de trabalho integral realizando este percurso e sem intervalos de descanso programados. O que faz com que os motoristas estejam expostos ao agente vibratório durante todo seu

expediente laboral. Fato esse que pode aumentar os riscos à saúde associados à exposição VCI, uma vez que longos tempos de exposição podem ser a causa da intensificação dos efeitos maléficos sentidos pelo organismo humano (HULSHOF, 1986).

Os valores de *arep* para cada uma das rotas correspondem a aceleração referente a uma parcela da jornada de trabalho. Com os dados de *arep* médio por rota mostrados na Fig. (38) foram estimados os valores de *aren*, que se refere a exposição durante todo o expediente laboral, para um condutor que este executa a mesma rota durante toda jornada de trabalho de 8 horas. Este caso de estudo implica em:  $arep = are = aren$ , ou seja, o valor de *arep* médio para a rota corresponde ao valor de *aren* para o condutor.

Com relação a rota A, o valor de *aren* é de  $1,07 \frac{m}{s^2}$ , o que denota uma condição muito próxima de se exceder o limite de exposição a VCI apresentado pela NHO, que é de  $1,1 \frac{m}{s^2}$ . Se considerado o desvio padrão calculado para a rota, que é exibido na Fig. (38), realizando a soma deste com o valor de *aren*, o motorista estaria acima do limite de exposição.

Para a rota B, o valor de *aren* é de  $0,86 \frac{m}{s^2}$ , que se encontra na faixa predita na como acima do nível de ação, sendo necessária a adoção de medidas de carácter preventivo, com o objetivo de que o valor não venha a superar o limite de exposição. Se considerado o valor de desvio padrão, o valor de *aren* ainda permanece na faixa descrita anteriormente.

A rota C possuiria um valor de *aren* de  $0,82 \frac{m}{s^2}$ , repetindo a faixa que excede o nível de ação, sendo necessária a aplicação de medidas preventivas. No caso da rota D, tem-se um valor de *arep* de  $0,92 \frac{m}{s^2}$ . Valor este que se aproxima do limite de exposição estabelecido na normativa, mas mesmo considerando o desvio calculado, o condutor ainda estaria na faixa acima do nível de ação.

A rota E se mostrou um das mais críticas, uma vez que apresenta o segundo maior valor de *arep*, de  $1,00 \frac{m}{s^2}$ . Além de se aproximar do limite de exposição, a situação se mostra alarmante se considerado o desvio padrão calculado, sendo excedido tal limite. Dessa forma, seria necessária a adoção de medidas corretivas. Em contraponto, tem-se a rota F, que apresentou o menor valor de *aren*, igual a  $0,77 \frac{m}{s^2}$  e desvio padrão de 0,13. Nota-se que mesmo o menor valor de *aren* não apresenta a consideração técnica aceitável, como apresentado na Fig. (12), sendo superado o nível de ação.

A rota G apresentou um valor de *aren* de  $0,91 \frac{m}{s^2}$ , que se aproxima do limite de exposição, sendo necessária a adoção de medidas que visem reduzir a probabilidade de que a exposição à VCI culmine em prejuízos a saúde do condutor.

Em geral, o cálculo do *aren* para essa suposição apontou que nenhuma das rotas apresentaria um valor de *aren* considerado na região aceitável da NHO 09. Para todas as rotas seriam ultrapassados os valores de nível de ação. E que ainda, o *aren* para as rotas A, D, E e G se mostrou muito próximo de superar o limite de exposição.

Com o intuito de verificar se os valores médios de *arep* mostrados na Fig. (38)

podem ser aplicadas para diversos motoristas que realizam as rotas estudadas, foram-se comparados os valores médios de *arep* das rotas apresentados anteriormente com o valor medido diretamente em determinados condutores.

Desta forma, foi possível verificar o erro existente caso fosse utilizado o valor médio calculado ao invés do valor realmente medido *in situ*, avaliando se este é significativo ou não. Por conseguinte, é factível analisar a viabilidade da utilização do valor médio da rota para a previsão da VCI a que um determinado motorista é submetido caso o condutor mude de rota durante a jornada, ou algo similar.

Foram retirados da planilha de planejamento experimental (Tab. 3), os experimentos considerados nesta análise e que estão mostrados na Tab. (6).

Tabela 6: Experimentos para análise comparativa entre o valor médio e o mensurado.

Medição	Rota	Motorista	Local de chegada	Percurso	Km	Tempo de viagem [min]	Horário início
006	A	18	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	06:25
014	B	18	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	08:10
007	A	20	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	10:05
024	D	20	Núcleo Bandeirante	EPIA	40,70	90	08:10
015	B	8	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	18:46
025	D	8	Núcleo Bandeirante	EPIA	40,70	90	17:00
016	B	6	Rodoviária do Plano Piloto	EPGU	17,95	40	05:55
020	C	6	Asa Norte	EPNB	33,83	80	06:50
008	A	13	Núcleo Bandeirante	EPNB	52,02	90	12:29
026	D	13	Núcleo Bandeirante	EPIA	40,70	90	10:30

Para cada uma das cores destacadas na Tab. (6) tem-se um conjunto de análise, uma vez que temos um mesmo motorista realizando duas diferentes rotas. Foi realizada então, a comparação dos valores de *arep* medidos no decorrer de cada percurso sendo apontada a rota que mais expõe o condutor à VCI, além da verificação do erro relativo existente entre o valor da medição e da média de cada uma das rotas, exibidas anteriormente na Fig. (38). A Tabela (7) apresenta os resultados obtidos.

Tabela 7: Análise comparativa entre o valor médio de *arep* da rota e o mensurado no condutor.

Motorista	Rota	<i>Arep</i> motorista [ $\frac{m}{s^2}$ ]	<i>Arep</i> médio da rota [ $\frac{m}{s^2}$ ]	Erro relativo [%]
18	A	0,95	1,07	12,56
	B	0,75	0,86	14,08
20	A	1,09	1,07	2,13
	D	0,93	0,92	1,15
8	B	0,93	0,86	7,28
	D	0,85	0,92	8,21
6	B	0,91	0,86	5,32
	C	0,90	0,82	8,22
13	A	1,04	1,07	2,08
	D	0,98	0,92	6,04

O estudo de caso referente ao motorista 18 aponta que a rota A apresentou um maior valor de *arep* se comparado ao valor da rota B. Sendo assim, a rota A expõe de forma mais significativa o condutor à VCI que a rota B. Com relação ao erro relativo dos valores de *arep* obtidos na medições das rotas A e B deste caso e os valores médios destas mesmas rotas, é notório que tanto a rota A como a rota B obtiveram os maiores erros relativos desta análise, de 12,56% e 14,08%, respectivamente.

Com relação ao motorista 20 foram comparadas a rota A e a rota D. Novamente, o valor de *arep* para a rota A se mostrou mais elevado, porém agora confrontado com o valor para a rota D. Mostrando que para este caso de estudo, o percurso A submete o condutor à níveis mais elevados de VCI. No tocante ao erro relativo, a rota D apresentou um valor desprezível, de apenas 1,15%, e a rota A apresentou um valor de erro igual a 2,13%, o que também é considerado muito baixo.

Para o motorista 8, a comparação entre as rotas B e D salientou que neste caso, o valor de *arep* para a rota B foi superior ao valor obtido para a rota D. Dessa forma, o trajeto B sujeita o condutor à níveis maiores de VCI. No que se refere aos valores de erro, tanto o percurso B quanto o D, apresentaram valores intermediários, de 7,28 % e 8,21% respectivamente.

Tendo em consideração o motorista 6 foram confrontadas as rotas B e C. Para esse caso, as duas medições obtiveram valores muito próximos, com diferença de apenas um centésimo. É importante destacar que para esse caso, os percursos analisados são semelhantes. Os erros também obtiveram resultados intermediários, porém ambos inferiores a 10 %. A rota B apresentou um erro relativo de 5,32 % e a rota C apresentou um erro de 8,22 %.

O último estudo da análise envolveu a comparação novamente das rotas A e D. Sendo que o valor de *arep* para a rota A foi superior ao da rota D, corroborando que a rota A se mostra mais crítica que a rota D no que concerne à exposição a VCI para este

cenário. Os valores de erro foram de 2,08% e de 6,04% respectivamente para a rota A e para a rota D.

Pode-se notar que nos estudos de caso referentes aos motoristas 20 e 13, onde foram analisadas as rotas A e D, os valores de *arep* para as respectivas rotas apresentaram valores próximos entre si. Destaca-se que para todos os casos em que a comparação foi realizada com a rota A, o valor para essa rota foi considerado o mais crítico, ratificando a primeira análise realizada.

De forma geral, os erros relativos dos valores de *arep* obtidos nas medições com relação ao valor médio de *arep* das rotas não foram superiores a 15% para nenhum dos experimentos em questão. Sendo registrados apenas dois valores de erro superiores a 10%, associados as rotas A e B. O estudo de (CHEN et al., 2004), que visa a criação de um modelo de previsão de exposição à vibração de corpo inteiro estimou um erro percentual de 11%, sendo este considerado relativamente baixo pelo projeto de pesquisa. Em comparação com os valores de erros obtidos, é notório que a grande maioria destes pode ser considerado relativamente baixo e em consonância com a literatura.

Considerando novamente o cálculo de *aren* a partir dos valores de *arep*, com as premissas apontadas anteriormente, tanto para o valor aferido no condutor quanto para o valor médio da rota, a classificação do valor de *aren* se mantém a mesma, de acordo com a NHO 09 (condutores acima do nível de ação). Comprovando que a previsão de valores de *aren* para o motorista a partir dos valores de *arep* médio das rotas que este executa durante a sua jornada de trabalho é uma boa estimativa.

Fato este que pode ser de grande utilidade para empresas de transporte no tocante a redução de situações de insalubridade nos condutores. Uma vez que de posse dos valores médios de *arep* por rota, estas podem reorganizar as escalas dos motoristas de forma que estes não executem rotas mais críticas durante toda a jornada de trabalho, mas que possam se alternar entre percursos que proporcionam exposições à VCI em menores níveis e aqueles que submetem os condutores a maiores níveis de exposição. O que culminaria em valores de *aren* menores do que se o condutor executasse apenas rotas críticas durante todo o seu expediente laboral.

Em se tratando da empresa co-participante e das rotas aqui estudadas, recomenda-se que aqueles condutores com escala inteiramente nas rotas A, E, D e G passem a realizar parte da jornada laboral executando viagens nos percursos B, C e F visando a redução da probabilidade de verificação de insalubridade nestes motoristas.

### 5.3.2 Análise do percentual de gordura e IMC dos motoristas

As análises realizadas nesta subseção tem como objetivo verificar se há uma correlação entre os valores de *arep* medidos e o IMC ou percentual de gordura aferidos dos condutores. Desse modo, foram extraídos da planilha de planejamento experimental (Tab.

3) o conjunto de dados onde se mantiveram a mesma rota e o mesmo tipo de veículo, variando apenas o condutor.

A rota A foi percorrida por oito diferentes motoristas, com percentuais de gordura de 14,50% a 27,10%, como mostra o gráfico da Fig. (39). Neste mesmo gráfico, em azul são exibidos os valores de *arep* aferidos em função do percentual de gordura corpórea dos condutores, enquanto que a linha vermelha mostra o ajuste realizado pelo método dos mínimos quadrados. Esse foi obtido com um polinômio de primeira ordem, obtendo um valor de  $R^2$  igual 0,68, cuja equação está mostrada na Fig (39).

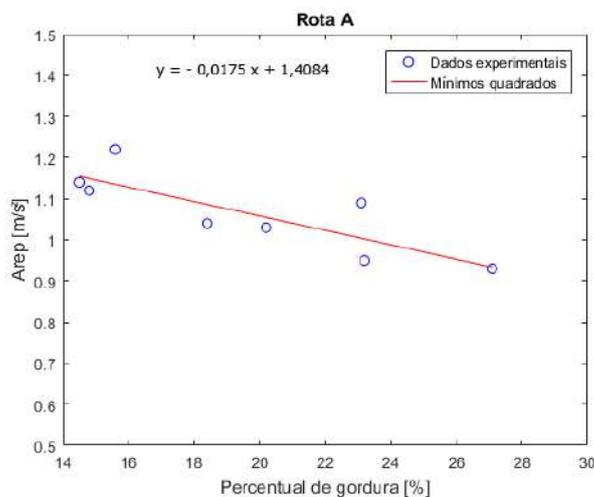


Figura 39: Análise do percentual de gordura (Rota A).

Neste caso, pode-se notar que os três maiores valores de *arep* para o percurso A foram relacionados aos menores percentuais de gorduras aferidos, ao passo que o menor valor de *arep* medido está ligado ao condutor que apresentou a maior porcentagem de gordura corporal. O ajuste da curva se mostrou satisfatório, uma vez que a média dos valores de *arep* calculados com a equação se mostrou distinto do valor médio mensurado apenas na casa dos milésimos, apontando um tendência linear decrescente para essa rota.

Ainda para a rota A, com o cálculo do IMC para cada motorista, foi-se plotado o gráfico de *arep* em função do IMC, exibido na Fig. (40). A Fig. (40 a) apresenta nas áreas preenchidas as classificações de IMC, segundo a OMS. A área destacada em verde corresponde a classificação de peso normal, a parcela em amarelo, que abrange apenas um experimento, corresponde a classe em sobrepeso, a faixa destaca em laranja refere-se a obesidade de grau 1 e para a medição sem preenchimento, o condutor é classificado com o obeso grau 2.

De forma análoga ao estudo do percentual de gordura corpóreo, percebe-se que os três maiores valores de *arep* estão concentrados na área associada àqueles condutores que tem os menores valores de IMC. A Figura (40 b) mostra na curva em preto, o ajuste realizado com os dados. Os dados em questão, se ajustaram de forma satisfatória à um polinômio de primeira ordem, de forma similar ao obtido para o percentual de gordura

corporal. A equação que descreve a curva é exibida na Fig. (40 b), sendo o valor de  $R^2$  igual 0,66. Tanto a equação quanto o valor de  $R^2$  se aproximaram fortemente do encontrado para o percentual de gordura.

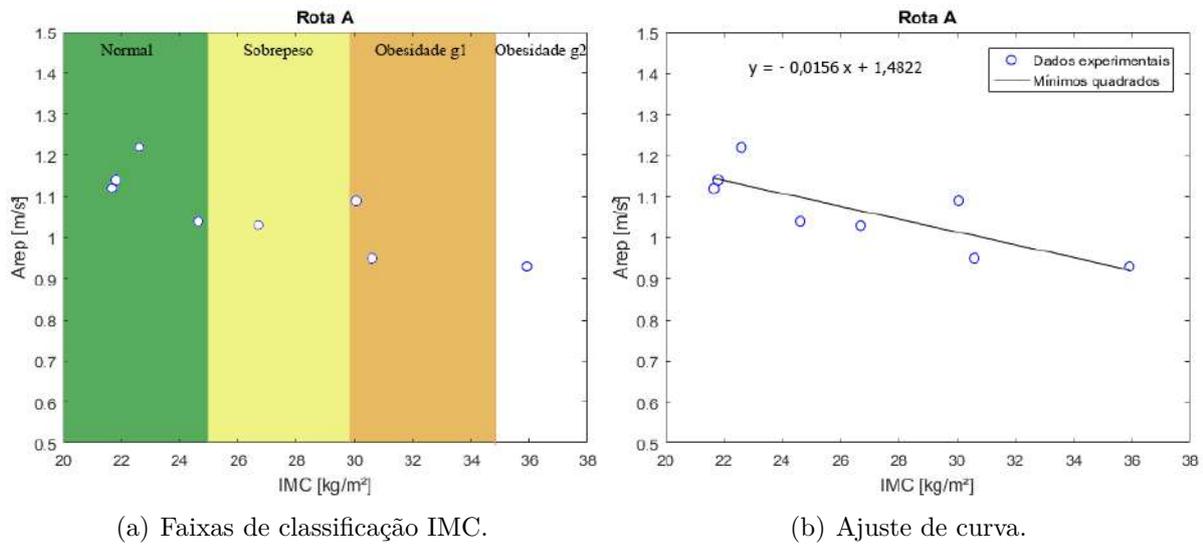


Figura 40: Análise do IMC (Rota A).

Para a rota B, também foram estudados oito experimentos realizados por diferentes condutores. Os valores de percentual de gordura aferidos variaram de 11,50% a 25,00%, neste caso (Fig. 41).

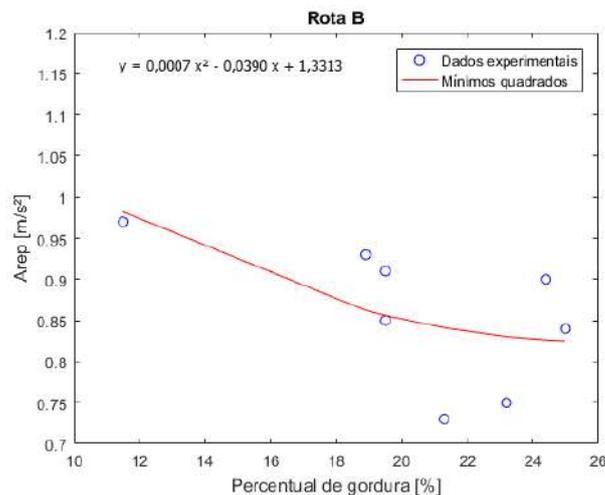


Figura 41: Análise do percentual de gordura (Rota B).

Pode-se notar que o maior valor de  $arep$  medido é referente ao menor percentual de gordura corporal aferido nesse conjunto de experimentos e assim sucessivamente para o segundo e o terceiro maior valor de  $arep$ , que são associados ao segundo e ao terceiro menor valor de porcentagem, vide Fig. (41). Dessa forma, os três maiores valores de  $arep$  são referentes aos três menores valores de porcentagem de gordura corpórea.

A Figura (41) apresenta ainda o ajuste da curva realizado para este caso, que culminou em um polinômio de segunda ordem, conforme a equação mostrada no gráfico. O valor de  $R^2$  em questão foi 0,39 e a diferença entre o valor médio medido para a rota e para o modelo foi de 2,6%.

A análise referente aos valores de IMC foi baseada nos dados mostrados na Fig. (42).

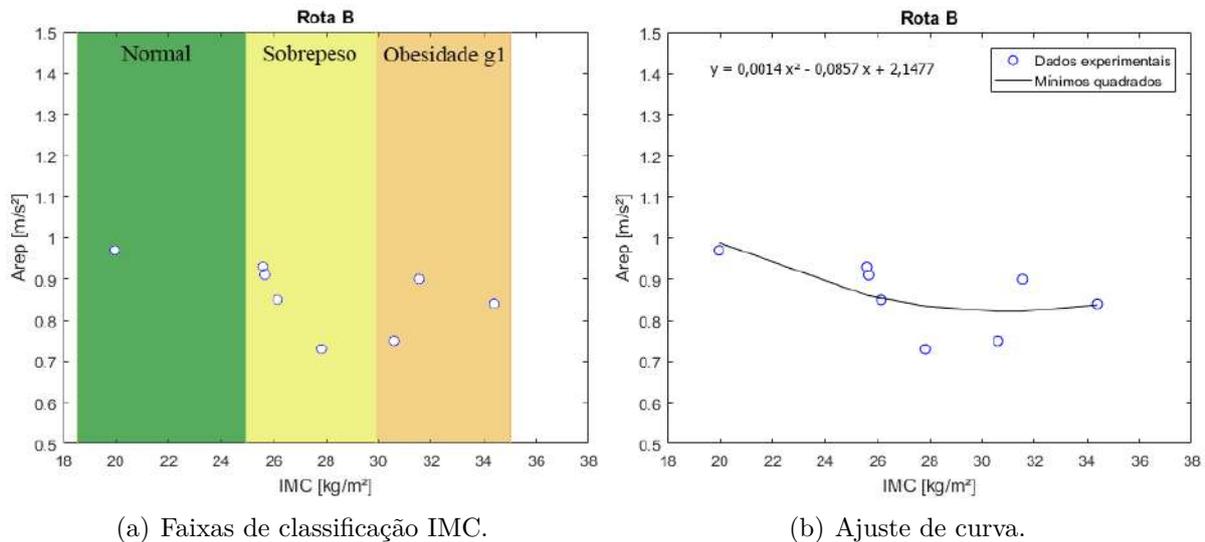


Figura 42: Análise do IMC (Rota B).

Da mesma maneira, a área em verde aqueles considerados com peso normal. Já a área demarcada de amarelo representa a àqueles acima do peso e a parcela em laranja, remete àqueles de grau de obesidade 1 (Fig. 42 a). Os dados apresentados mostraram uma situação alarmante, pois apenas um motorista envolvido no caso está na faixa considerada normal, enquanto que os outros sete condutores estão acima do peso ou obesos.

A Figura (42 b) aponta que o maior valor de  $arep$  mensurado foi aquele referente ao motorista com o menor IMC e que o segundo e o terceiro maior valor de  $arep$  seguem de forma análoga. Nota-se que a conclusão para o correlação observada no tocante ao percentual de gordura se assemelha ao obtido para o IMC. O ajuste da curva também é exibido na Fig. (42 b). Este foi realizado novamente com um polinômio do segundo grau, obtendo o valor de  $R^2$  de 0,43. A diferença entre o valor médio medido para a rota e para o ajuste, em função do IMC foi de 2,9%.

No tocante a rota C, foram consideradas sete medições sendo três dessas realizadas pelo mesmo condutor, conforme a Tab. (5). Os valores de percentual de gordura aferidos variaram de 17,70% a 22,10%. O gráfico de  $arep$  em função do percentual de gordura corporal para esta rota é exibido na Fig. (43).

Verifica-se que para a Rota C, o maior valor de  $arep$  aferido está relacionado o menor percentual de gordura medido entre os condutores envolvidos e também que o menor valor de  $arep$  obtido está associado ao condutor de maior porcentagem de gordura

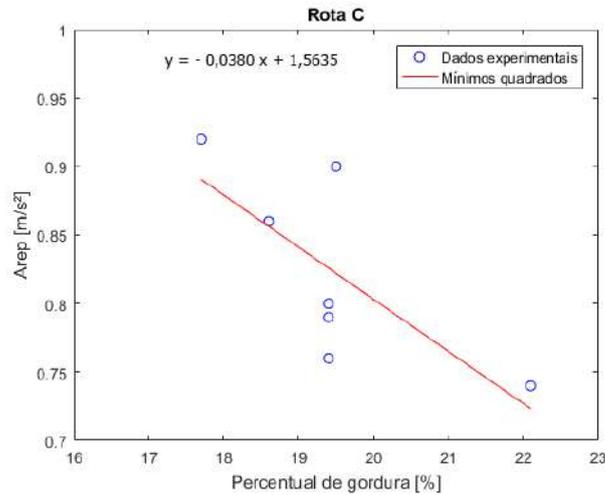
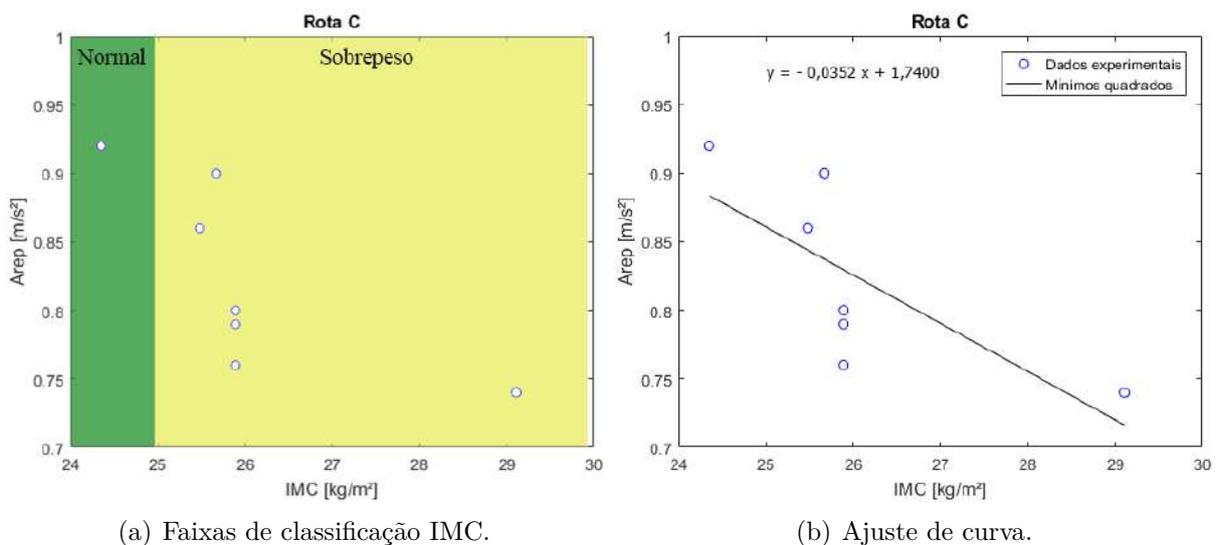


Figura 43: Análise do percentual de gordura (Rota C).

corporal. Os dados em questão puderam ser bem ajustados com uma reta, sendo o valor de  $R^2$  igual a 0,59. A equação que descreve a curva está mostrada na Fig. (43). O valor médio de *arep* obtido com o ajuste difere apenas 2,6% do valor médio mensurado.

Em relação aos valores de IMC, ainda para a Rota C, apenas um condutor desta análise estava com peso normal como apresentado na área destacada em verde na Fig. (44 a), enquanto que para todas as outras medições, os condutores estão na área destacada em amarelo, que corresponde à classificação acima do peso. Nota-se que o condutor considerado em peso normal obteve o maior valor de *arep*, ao passo que os valores de *arep* menores foram registrados para os motoristas acima do peso. Na Fig. (44 b) podemos observar que o ajuste para a curva do IMC também foi feito com um polinômio de primeiro grau, sendo o valor de  $R^2$  igual a 0,64.



(a) Faixas de classificação IMC.

(b) Ajuste de curva.

Figura 44: Análise do IMC (Rota C).

A avaliação relativa a rota D abordou três experimentos, nos quais os percentuais

de gordura dos condutores variaram de 18,40% a 23,10%. O gráfico de *arep* em função da porcentagem de gordura para a Rota D é mostrado na Fig. (45). É possível constatar que de forma correlata com as análises anteriores, o motorista com o menor percentual de gordura corporal foi aquele em que se obteve o maior valor de *arep*. Realizando o ajuste dos dados experimentais, encontrou-se um polinômio quadrático, cuja equação está exibida na Fig. (45) e cujo valor de  $R^2$  é igual a 1.

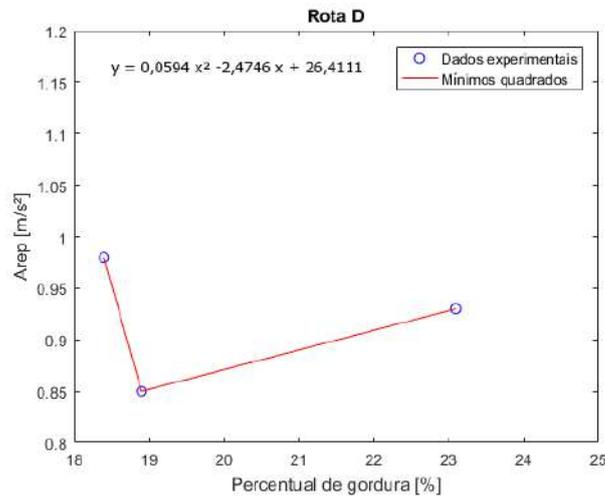
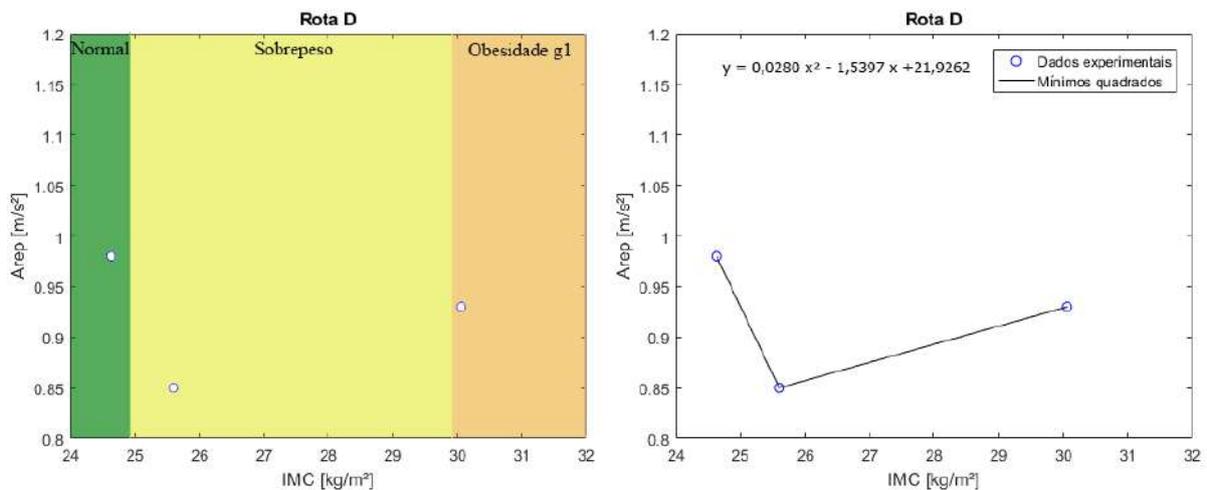


Figura 45: Análise do percentual de gordura (Rota D).

Ainda para a rota D, plotou-se o gráfico de *arep* em função do IMC (Fig. 46). Na Figura (46 a) são apresentadas as faixas de classificação de IMC segundo a OMS para estes condutores. A região delimitada em verde aponta aquele motorista considerado em peso normal, a área hachurada em amarelo representa aquele que está acima do peso e parcela em laranja indica que o trabalhador é classificado como obeso de grau 1.



(a) Faixas de classificação IMC.

(b) Ajuste de curva.

Figura 46: Análise do IMC (Rota D).

Observa-se que dois dos três condutores em questão não apresentam um valor de IMC considerado benéfico a saúde, sendo ainda que um deles é classificado como obeso.

De modo similar ao encontrado previamente, temos que o menor valor de IMC da série corresponde ao motorista em que foi-se aferido o maior valor de *arep*. A Figura (46 b) apresenta o ajuste da curva feito a partir dos dados experimentais. A equação inserida no gráfico descreve a trajetória da curva, para a qual se tem um valor de  $R^2$  igual a 1.

A rota E possui um conjunto de três medições em análise, com três condutores distintos. Seus valores de porcentagem de gordura corporal variam de 16,20% a 28,40%. O gráfico de *arep* contra percentual de gordura mostrou uma tendência linear decrescente dos dados, onde quanto menor o percentual de gordura do motorista, maior o valor de *arep*. A equação referente ao ajuste da curva é mostrada na Fig. (47) e o valor de  $R^2$  é igual a 1.

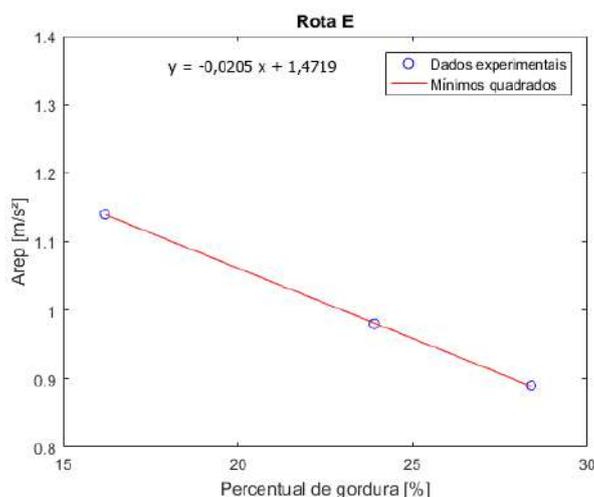


Figura 47: Análise do percentual de gordura (Rota E).

Tendo em consideração o IMC dos motoristas, os resultados (Fig. 48 a) mostraram que dos três condutores em questão, apenas um estava na faixa verde que se refere ao peso normal, ao passo que os outros dois condutores que estão na área laranja e na parcela sem preenchimento, apresentam grau de obesidade 1 e 2, respectivamente.

De forma similar ao gráfico da Fig. (47), para os valores de IMC notou-se que quanto menores estes são, maiores são os valores de *arep*. A Figura (48) mostra o ajuste realizado para estes dados, que resultaram em uma reta cuja equação está exibida e com  $R^2$  igual a 0,97.

Para a rota F foram realizadas apenas duas medições, onde os condutores tem percentual de gordura corporal de 22,00% e 23,50%. A análise com relação a porcentagem de gordura mostrou que mesmo com dois experimentos, o motorista de menor percentual de gordura corporal apresentou o maior valor de *arep* (Fig.49 a). Como o gráfico mostra apenas dois pontos, optou-se por não realizar o ajuste da curva neste caso.

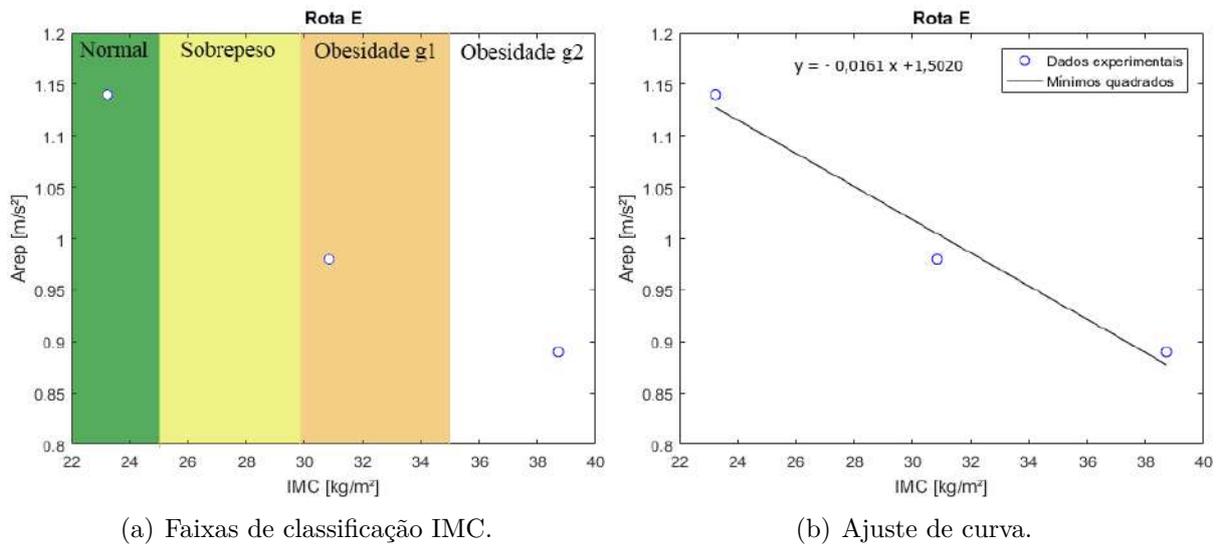


Figura 48: Análise do IMC (Rota E).

A avaliação relativa ao IMC aponta que um dos condutores foi classificado com acima do peso, como mostra a área em amarelo da Fig. (49 b), e o outro foi considerado obeso grau 1. De forma análoga, o condutor de menor IMC apresentou um valor de *arep* medido superior àquele que possui maior IMC.

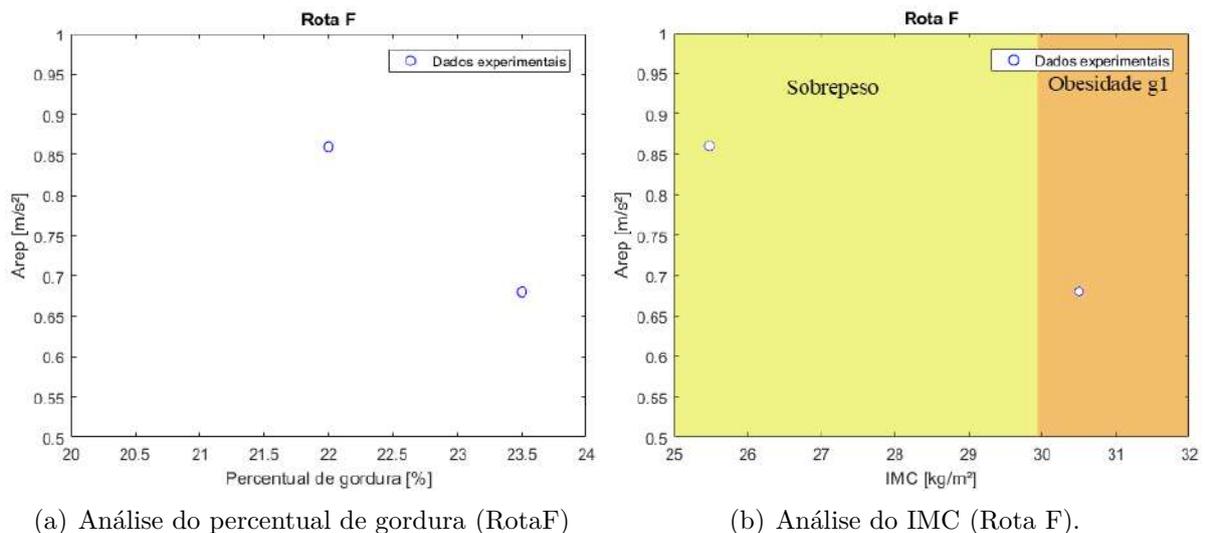


Figura 49: Análise do IMC (Rota F).

A análise relativa a rota G contemplou um total de 6 medições, com porcentagem de gordura variando de 14,50% a 24,60%. De modo análogo ao que se obteve para as outras rotas, os três maiores valores de exposição à VCI foram aqueles referentes aos motoristas com os três menores percentuais de gordura corpórea (Fig. 50). O ajuste dados culminou em um polinômio de primeiro grau, cuja equação é apresentada na Fig. (50) e de valor de  $R^2$  igual a 0,61.

Com relação ao IMC, é possível notar na Fig. (51 a) que os três maiores valores de *arep* correspondem aos motoristas na faixa hachurada em verde, cuja classificação de

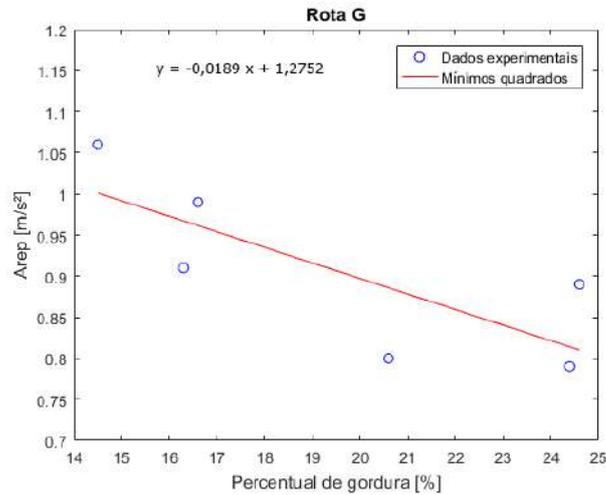
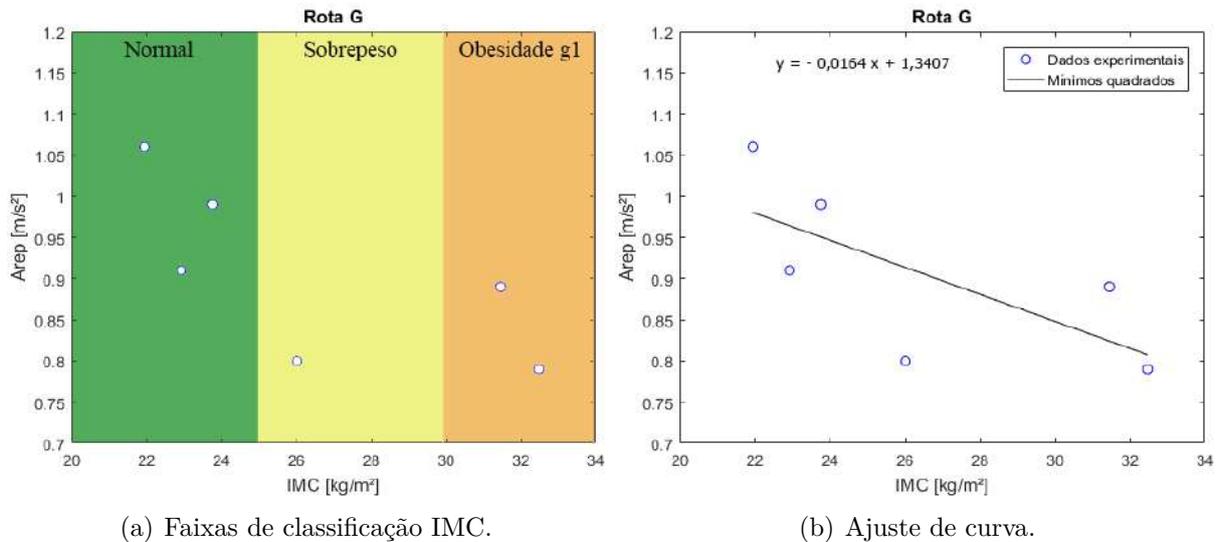


Figura 50: Análise do percentual de gordura (Rota G).

IMC é considerada como peso normal. Sendo ainda, o menor valor de *arep* registrado na faixa em laranja que se refere a classificação de obesidade grau 1. O motorista na área em amarelo é classificado como acima do peso. A Figura (51 b) mostra a curva ajustada para tais dados cujo valor de  $R^2$  é 0,49.



(a) Faixas de classificação IMC.

(b) Ajuste de curva.

Figura 51: Análise do IMC (Rota G).

Em resumo, para todas as sete rotas em estudo, foi observado que os maiores valores de aceleração resultante de exposição parcial (*arep*) estão relacionados aos condutores em que se aferiu os menores percentuais de gordura corporal e que os gráficos de IMC seguiram de forma muito semelhante o comportamento observado nos gráficos de percentual de gordura.

O que se conclui com os gráficos é que há uma relação entre a vibração de corpo inteiro e a antropometria do condutor apresentada, uma vez que independente da rota o maior valor de *arep* está ligado aquele com o menor percentual de gordura e menor

valor de IMC. Porém esta correlação não é direta, clara, posto que houve variabilidade nas curvas obtidas para cada uma das rotas.

A Tabela (8) apresenta um apanhado geral dos resultados obtidos para a análise de percentual de gordura e IMC. É possível notar que os resultados para diferentes rotas possuem grande variabilidade, o que reforça que não há uma correlação exata. Sugerindo que há interação de dois ou mais fatores com o IMC e a porcentagem de gordura, que geram o resultado da aceleração. Ou seja, a aceleração não é afetada única e isoladamente pelo IMC ou percentual de gordura. É importante destacar ainda que não se tem normalidade de dados em cada uma das rotas, apenas nos experimentos como um todo.

Tabela 8: Resumo dos resultados obtidos para análise de percentual de gordura e IMC.

Rota	Amostras	Ajuste	$R^2$ (Percentual de gordura)	$R^2$ (IMC)
A	8	Polinômio de 1º grau	0,68	0,66
B	8	Polinômio de 2º grau	0,39	0,43
C	7	Polinômio de 1º grau	0,59	0,64
D	3	Polinômio de 2º grau	1	1
E	3	Polinômio de 1º grau	1	0,97
F	2	-	-	-
G	6	Polinômio de 1º grau	0,61	0,49

O estudo de (NOORLOOS et al., 2008) se dedica a investigar o índice de massa corporal aumenta o risco de dor lombar em uma população exposta à vibração do corpo inteiro durante a condução de veículos. As medições de vibração foram realizadas segundo a ISO 2631-1 em uma amostra representativa ( $n = 30$ ). O estudo não encontrou correlação claramente significativa entre o IMC e o início da lombalgia e também não foi encontrado aumento de risco significativo para o início da dor lombar com o aumento do IMC.

A revisão da literatura científica apresentada por (BURDORF; SOROCK, 1997) aponta que a exposição a VCI é um fator de risco de carga física associado a distúrbios nas costas relacionado a atividade laboral. No entanto, fatores como altura e peso não foram consistentemente associados a distúrbios nas costas em populações ocupacionais. A literatura em questão corrobora com as discussões apresentadas anteriormente.

### 5.3.3 Análise da influência da massa suspensa

A análise apresentada nesta subseção foi realizada levando em consideração a massa suspensa relacionada diretamente com a quantidade de passageiros transportados no veículo e abordou os experimentos apresentados na Tab. (9), retirados da planilha de planejamento experimental. Neste caso, foram realizadas três medições em um mesmo percurso (Rota C) realizado por um único motorista em três horários distintos. Os horários em questão foram selecionados com o objetivo de obter valores diferentes de quantidade de passageiros no veículo, uma vez que estão situados nas faixas do pico-manhã, entre-pico manhã e no pico-almoço.

Tabela 9: Experimentos utilizados na análise da influência da massa suspensa.

Medição	Rota	Motorista	Local de chegada	Percurso	Km	Tempo de viagem [min]	Horário início
021	C	7	Asa Norte	EPNB	33,83	80	06:00
022	C	7	Asa Norte	EPNB	33,83	80	08:20
023	C	7	Asa Norte	EPNB	33,83	80	11:20

Os resultados dos valores de *arep* obtidos, bem como a quantidade de passageiros aferida em cada uma das medições são mostrados na Tab. (10). A diferença na quantidade de passageiros nos horários de 08:20 e 11:20 foi de apenas uma unidade, enquanto que a viagem das 06:00 teve o maior carregamento, de 70 pessoas.

Nota-se de uma forma geral, que houve uma tendência de aumento do valor de *arep* quanto maior foi a quantidade de passageiros no veículo. No entanto, seria interessante obter uma quantidade maior de dados para se chegar a conclusão mais precisa, uma vez que este foi um estudo preliminar.

Embora a variabilidade no quantitativo de passageiros seja de apenas uma unidade, entre as medições 22 e 23, a variação do valor absoluto de *arep* foi maior do que se consideramos a diferença entre as medições 21 e 23. Para este último caso, a diferença na quantidade de passageiros foi de 26 pessoas e foi-se obtida uma variação absoluta de valores de *arep* de apenas  $0,01 \frac{m}{s^2}$ .

Também podemos destacar a dificuldade em encontrar na literatura parâmetros comparativos obtidos para este estudo de caso, uma vez que o estudo da influência da massa suspensa do veículo é uma abordagem nova.

Tabela 10: Análise da influência da massa suspensa.

Medição	Horário início	Quantidade de passageiros	<i>Arep</i> [ $\frac{m}{s^2}$ ]
022	08:20	43	0,76
023	11:20	44	0,79
021	06:00	70	0,80

#### 5.3.4 Determinação da exposição à VCI durante a jornada de trabalho

Para os quinze motoristas em que suas jornadas de trabalho são cumpridas apenas em rotas onde houveram medições, realizou-se a aplicação dos procedimentos de cálculo apresentados na NHO 09 para a avaliação da exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro durante a jornada de trabalho visando verificar se estes estão submetidos

à insalubridade. Dessa forma, foram determinados para cada um destes condutores os dois parâmetros exigidos na normativa: a aceleração resultante de exposição normalizada ( $aren$ ) e do valor de dose de vibração resultante (VDVR).

A determinação do  $aren$  se iniciou com o cálculo do  $arep$ , que corresponde a média aritmética dos valores de aceleração média resultante ( $amr$ ) medidos durante a realização da jornada de trabalho para cada componente de exposição, segundo a Eq. (3.5). O valor de  $arep$  mensurado para cada motorista, bem como o número de componentes de exposição ( $m$ ) que compõe a exposição diária são mostrados na Tab. (11).

Vale ressaltar que cada rota foi considerada uma componente de exposição distinta no presente estudo, ou seja, caso o condutor execute apenas uma rota durante sua jornada de trabalho, este está submetido à apenas uma componente de exposição e caso ele realize duas rotas, duas componentes, como é o caso do motorista 8 (Tab. 11) e assim sucessivamente.

Posteriormente, calculou-se o valor da aceleração resultante de exposição ( $are$ ), de acordo com a Eq. (3.6). Os valores de números de repetições da componente de exposição ( $n_i$ ) de cada componente na jornada de trabalho, de tempo de duração da componente de exposição ( $T_i$ ) e tempo de duração da jornada diária de trabalho ( $T$ ) considerados também são apresentados na Tab. (11). Sendo que o tempo de duração da jornada de trabalho foi obtido com a empresa co-participante.

Por fim, o valor de  $aren$  foi determinado a partir da Eq. (3.7) e é apresentado na Tab. (13), sendo o valor de  $T_0$  correspondente ao valor de uma jornada padrão de 8 horas.

Tabela 11: Variáveis para cálculo da  $aren$ .

Motorista	m	$arep$ [ $\frac{m}{s^2}$ ]	$n_i$	$T_i$ [s]	T [s]	$are$ [ $\frac{m}{s^2}$ ]
21	1	1,22	4	4.551	18.480	1,21
25	1	1,12	3	5.453	19.440	1,03
29	1	1,14	3	5.419	18.660	1,06
2	1	0,97	8	1.620	21.300	0,76
19	1	0,84	8	2.160	20.400	0,77
22	1	0,92	4	3.989	19.200	0,84
14	1	0,89	6	3.480	21.600	0,88
26	1	0,98	6	3.480	28.800	0,84
16	1	0,68	3	8.928	23.400	0,72
23	1	1,06	4	3.844	23.700	0,78
27	1	0,79	4	6.264	23.100	0,82
24	1	0,99	3	4.273	18.300	0,83
28	1	0,91	4	4.680	21.600	0,85
30	1	0,80	3	6.092	17.700	0,81
8	2	0,85	3	6.000	28.260	0,76
		0,93		1.807		

O cálculo do VDVR se iniciou com o cálculo do valor da dose de vibração para cada eixo de uma determinada componente de exposição, conforme a Eq. (3.8). Os valores

de VDV para cada eixo são apresentados na Tab. (12). Posteriormente são calculados os valores da dose de vibração da exposição parcial, com relação a cada eixo e referente a cada componente de exposição, de acordo com Eq. (3.9). Os valores de  $f$  para os eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$  são respectivamente, 1,4 ; 1,4 e 1,0 e os valores de  $T_{exp}$  e  $T_{amos}$ , bem como o  $VDV_{expj1}$  são mostrados também na Tab. (12).

Como para quatorze dos quinze casos de estudo, só há uma única componente de exposição, o valor de  $VDV_{expj}$  que seria calculado em seguida, utilizando-se a Eq. (3.11) é igual ao valor de  $VDV_{expj1}$  calculado anteriormente, nesta condição. Para o motorista 8, os valores de cada componente são mostrados no fim da Tab. (12). Com exceção da numeração dos motoristas e dos tempos, todos os valores da Tab. (12) estão na unidade de medida  $\frac{m}{s^{1,75}}$ .

Com os valores de  $VDV_j$  para cada eixo foi-se obtido o valor de VDVR para cada condutor, usando a Eq. (3.12). Os resultados destes são mostrados na Tab. (13).

Tabela 12: Variáveis para cálculo do VDVR.

Mot.	$VDV_x$	$VDV_y$	$VDV_z$	$T_{exp}$ [s]	$T_{amos}$ [s]	$VDV_{expx}$	$VDV_{expy}$	$VDV_{expz}$
21	4,00	4,20	14,31	21.600	4.551	8,27	8,69	21,12
25	4,00	4,48	12,78	17.100	5.453	7,45	8,35	17,01
29	4,88	4,46	12,93	16.200	5.419	8,98	8,22	17,00
2	3,22	3,08	6,99	19.200	1.620	8,37	8,00	12,96
19	3,39	3,13	6,68	18.300	2.160	8,10	7,48	11,39
22	3,86	3,80	8,94	19.200	3.989	8,01	7,88	13,24
14	3,41	3,31	9,12	19.800	3.480	7,32	7,16	14,09
26	3,95	3,32	10,61	21.600	3.480	8,73	7,33	16,75
16	4,06	3,81	8,80	21.600	8.928	7,08	6,65	10,97
23	4,29	4,37	9,78	21.600	3.844	9,24	9,43	15,05
27	3,91	3,62	9,69	21.600	6.2642	7,46	6,90	13,21
24	3,65	3,55	11,49	16.200	4.273	7,12	6,94	16,03
28	3,73	3,91	8,81	21.600	4.680	7,65	8,02	12,91
30	4,05	3,77	9,99	16.200	6.092	7,24	6,74	12,76
8	3,21	3,04	6,45	4.800	1.807	8,26	7,32	13,24
	4,31	3,73	9,92	16.200	6.000			

Com base nos valores de nível de ação e limite de exposição apresentados na NHO 09, os resultados podem ser analisados conforme a Fig. (12) e da seguinte maneira:

- Se a  $aren$  for superior a  $1,1 \frac{m}{s^2}$  ou se o VDVR for superior a  $21 \frac{m}{s^{1,75}}$ , o limite de exposição estará excedido e é necessária a adoção de medidas corretivas com o objetivo de realizar o controle da exposição do trabalhador;
- Caso a  $aren$  esteja entre  $0,5 \frac{m}{s^2}$  e  $1,1 \frac{m}{s^2}$  ou se o VDVR estiver entre  $9,1 \frac{m}{s^{1,75}}$  e  $21 \frac{m}{s^{1,75}}$ , a exposição é considerada acima do nível de ação, sendo necessário adotar medidas preventivas visando a minimização das probabilidades de que a exposição

Tabela 13: Valores de *aren* e VDVR.

Motorista	Rota	<i>aren</i> [ $\frac{m}{s^2}$ ]	VDVR [ $\frac{m}{s^{1,75}}$ ]
21	A	0,97	21,39
25	A	0,84	17,40
29	A	0,85	17,54
2	B	0,65	13,89
19	B	0,65	12,48
22	C	0,69	14,03
8	D e B	0,75	13,99
14	E	0,76	14,56
26	E	0,84	17,19
16	F	0,65	11,74
23	G	0,78	16,06
27	G	0,74	13,76
24	G	0,66	16,32
28	G	0,74	13,71
30	G	0,64	13,30

à VCI possam causar prejuízos a saúde do colaborador e para evitar que o limite de exposição seja superado.

Para cada um dos motoristas, é mostrado na Tab. (14) a consideração técnica referente aos valores de *aren* e VDVR apresentados na Tab. (13), bem como a atuação recomendada em norma.

Tabela 14: Consideração técnica e atuação recomendada pela NHO 09.

Motorista	Consideração técnica	Atuação recomendada
21	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas.
25	Acima do nível de ação.	No mínimo adoção de medidas preventivas
29		
2		
19		
22		
8		
14		
26		
16		
23		
27		
24		
24		
30		

É possível notar que nenhum dos valores de *aren* e VDVR estão dentro da região considerada aceitável pela norma, o que aponta uma situação alarmante. Dos quinze condutores em questão, quatorze apresentaram valores acima no nível de ação sendo

necessária a aplicação de medidas preventivas com o objetivo de minimizar a probabilidade de que a exposição desses condutores à VCI possa ocasionar danos à sua saúde e visando também que o limite de exposição não seja ultrapassado. É importante destacar que esses condutores realizam viagens nas 7 rotas estudadas, o que demonstra que independente das rotas, os motoristas estão acima do nível de ação.

O motorista 21, que não está acima do nível de ação, está em uma situação ainda mais crítica, uma vez que para este foi datada a superação do limite de exposição à VCI, com VDVR acima de  $21 \frac{m}{s^{1,75}}$ . Esse condutor executa sua jornada de trabalho inteiramente realizando o percurso da rota A, que se mostrou a rota com maior valor de *arep* médio na análise geral de rotas. Neste caso é necessário adotar medidas de correção para controlar a exposição do trabalhador.

Nota-se também que comparando a situação prevista para os valores de *aren* realizados com o valor de *arep* médio para cada rota na subseção 5.3.1 se mostrou muito fidedigno, uma vez que para todos os motoristas analisados, foi superado o nível de ação e que a superação do limite de exposição para a rota A (motorista 21), foi prevista considerando o desvio padrão calculado. Ratificando que o valor de *aren* calculado pela média do *arep* da rota pode ser uma previsão preliminar válida.

As medidas preventivas, necessárias para os condutores que se encontram acima do nível de ação, incluem o monitoramento periódico da exposição, informação e orientação aos trabalhadores e além do controle médico. Já com relação as medidas corretivas, referentes ao condutor que está acima do limite de exposição previsto em norma, devem ser analisadas a modificação do processo ou da operação de trabalho, o que pode abranger o reprojeto da ferramenta de trabalho, a reorganização ou alteração da rotina de trabalho, adoção de assentos antivibratórios, melhoria das condições e das características dos pisos e pavimentos usados para a circulação dos veículo.

Também são medidas de correção a realização manutenção frequente nos veículos, sendo dada uma atenção especial aos sistemas de suspensão e amortecimento, ao assento do motorista, calibração de pneus, alinhamento e balanceamento, troca de peças que apresentem defeitos ou que estejam desgastadas de forma a mantê-las em bom estado de conservação e redução do tempo de exposição diária com a alternância de atividades que geram exposições a níveis mais elevados de vibração com outras que não apresentem exposições ou impliquem em exposições a menores níveis.

Ainda se é indicado, em se tratando deste caso, que existam maiores tempos de pausa entre as viagens dos condutores durante a sua jornada de trabalho. E em um cenário ideal, seria interessante que houvesse a realização de ginástica laboral pelos motoristas acompanhada por profissionais capacitados. Quanto aos altos valores de massa aferidos, que podem aumentar o risco de acometimento de doenças ocupacionais, é recomendado que a empresa faça campanhas de conscientização alertando os seus colaboradores e incentivando a realização de atividades físicas.

## 6 Conclusão

### 6.1 Conclusão

Tendo em vista os aspectos analisados no decorrer do presente trabalho, é notório que a Vibração de Corpo Inteiro é um agente ocupacional que expõe os motoristas de ônibus à riscos relacionados a sua saúde. É possível concluir com as respostas apresentadas pelos condutores que responderam ao questionário de anamnese mostrado na Fig. (13) que o acometimento de dores na região lombar datado na literatura estudada é comumente relatado por essa classe trabalhadora.

A classe dos motoristas é composta em sua maioria por pessoas do sexo masculino e embora os abordados pela pesquisa se declararam como não sedentários, seus valores de IMC calculados apresentaram dados alarmantes segundo a classificação da OMS, o que pode caracterizar um risco maior às doenças ocupacionais.

A vibração proveniente de seu ambiente de trabalho é significativamente determinante na realização de suas atividades laborais uma vez que a maioria dos motoristas citou que se sente incomodado com os estímulos vibratórios. E o sentimento de dores na coluna foi apontado por uma parcela considerável dentre os condutores.

A seleção de 30 condutores para a realização dos experimentos se mostrou fidedigna a premissa do TLC, uma vez que foi comprovada a normalidade dos valores de aceleração resultante da exposição parcial (*arep*) com a implementação do teste de Shapiro-Wilk.

O resultado das medições experimentais apontaram, respectivamente, as rotas A, E, D e G, como sendo as mais críticas à exposição a VCI para os motoristas. Se considerado que os condutores realizam apenas um dos percursos estudados durante uma jornada completa de 8 horas, independente da rota, estes estão acima do nível de ação, segundo a NHO 09.

Fato este que inspira atenção, necessitando da adoção de medidas preventivas visando a redução da probabilidade de que possam ser causados prejuízos a saúde dos motoristas. Sendo ainda que se ponderado o desvio padrão, aqueles que executam as rotas A e E estão acima do limite de exposição, sendo submetidos à condições insalubres durante a sua jornada laboral.

A comparação entre os valores médios de *arep* e os valores diretamente aferidos nos condutores, apresentou erros inferiores a 15% em todos os casos de estudo e se realizada a estimativa dos valores correspondentes a exposição a VCI durante a jornada de trabalho tanto para os valores médios quanto para os valores mensurados nos experimentos, tem-se a mesma consideração técnica. Este resultado permite concluir que a previsão dos valores de exposição resultante de exposição normalizada (*aren*) a partir dos valores de exposição resultante de exposição parcial (*arep*) é viável. Em se tratando de empresas de transporte, este fato pode ser utilizado para planejar a jornada de trabalho dos motoristas com o objetivo de reduzir a probabilidade de que estes estejam submetidos à uma condição de insalubridade.

A análise da correlação entre o percentual de gordura e o IMC dos condutores com os níveis vibratórios a que estes estão expostos, não mostrou uma relação direta e clara, o que remete ao fato que existem outras variáveis possuem influência no nível vibratório. Porém, independente da rota de estudo, o motorista com a menor porcentagem de gordura corpórea e menor IMC foi aquele em que se aferiu o maior valor de *arep*, que corresponde a aceleração medida em uma parcela de sua jornada de trabalho.

A investigação quanto a massa suspensa do veículo relativa diretamente a quantidade de passageiros transportados foi um estudo preliminar, mas que indicou que quando maior a quantidade de passageiros, maior também é o nível de exposição à VCI do motorista. Mostrando que veículos super-lotados podem conjecturar não apenas situações de desconforto para os passageiros, mas também níveis vibratórios ao condutor para os quais se deve ter atenção.

Com a determinação da exposição à VCI durante a jornada de trabalho de quinze condutores, foi possível concluir que quatorze destes estão acima do nível de ação estabelecido pela normativa utilizada neste estudo. Sendo necessária, nestes casos, a adoção de medidas de prevenção para que não seja ultrapassado o limite de exposição. Para o condutor que não se encontra acima do nível de ação, a situação se apresentou mais crítica, com a superação do limite de exposição sendo necessária a adoção de medidas corretivas para que este condutor não tenha danos à sua saúde.

Assim, a investigação das relações que a VCI pode ter com diferentes variáveis é de extrema importância para a caracterização de aspectos relacionados à saúde e ao conforto dos motoristas de ônibus urbanos. Estudos analíticos como este podem vir a influenciar o desenvolvimento de novas tecnologias que visem reduzir os níveis de vibração à que estes são submetidos e ainda provocar a adoção de corretivas e/ou preventivas que favoreçam essa classe de trabalho.

## 6.2 Trabalhos futuros

A realização deste trabalho, bem como resultados obtidos e discussões realizadas, permitiram a sugestão de alguns trabalhos futuros. Como não foi encontrada uma correlação clara entre os valores de exposição ocupacional à VCI e o percentual de gordura corporal dos condutores ou seu IMC, mas esta averiguação se justifica pela porcentagem de condutores acima do peso e em graus de obesidade, propõe-se que o trabalho de investigação desta relação seja realizada em um trabalho de bancada. Desta forma, pode-se controlar de forma mais gradual diferentes percentuais de gordura.

Em muitas cidades brasileiras, os ônibus que realizam o transporte público operam com cobradores para realizar a arrecadação dos valores de passagem, porém não encontra-se na literatura uma quantidade representativa de avaliações da exposição ocupacional destes à VCI. Sugere-se então um trabalho que implemente tal avaliação e verifique a diferença destes níveis de exposição com relação aos dos motoristas.

Recomenda-se também a realização de medições *in situ* dos níveis de exposição à VCI em diferentes tipos de veículo, como micro-ônibus e ônibus articulado. Este último predominantemente possui motor traseiro, o que justifica a análise de que se esta condição altera o nível de exposição do condutor. E ainda mais, para esta tecnologia de veículo frequentemente o cobrador se localiza mais próximo ao motor do que o motorista, o que justifica a realização de uma análise comparativa para estes trabalhadores.

Propõe-se ainda a realização da análise da influência da massa suspensa no veículo, diretamente ligada a quantidade de passageiros, com um número maior de amostras para uma investigação completa de como esta pode alterar os níveis vibratórios a que os motoristas são submetidos.

# Referências

- ACTION, P. Teste de shapiro-wilk. 2019. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/inferencia/64-teste-de-shapiro-wilk>>. Citado na página 58.
- ALPEROVITCH-NAJENSON, D. et al. Low back pain among professional bus drivers: ergonomic and occupational-psychosocial risk factors. *Sat*, v. 2, p. 18, 2010. Citado 4 vezes nas páginas 2, 3, 13 e 14.
- AMANN, B. d. O. Estudo das medições de vibração e eletromiografia na coluna lombar de operadores de empilhadeira, utilizando pneus elásticos e infláveis. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2006. Citado na página 10.
- APOLLO Ônibus. Poltrona de motorista. 2018. Disponível em: <<https://www.apolloonibus.com.br/produto/fa503-poltrona-motorista-fixa-hidraulica-base-triangulo>>. Citado na página 16.
- BALBINOT, A.; TAMAGNA, A. Avaliação da transmissibilidade da vibração em bancos de motoristas de ônibus urbanos: um enfoque no conforto e na saúde. *Revista brasileira de engenharia biomédica= Brazilian journal of biomedical engineering. Rio de Janeiro, RJ. Vol. 18, n. 1 (jan./abr. 2002), p. 31-38*, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- BARBOSA, S. V. dos S. Análise de vibrações de corpo inteiro em autocarros articulados em circuito urbano. 2016. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- BARREIRA, S.; MATOS, M.; BAPTISTA, J. S. Exposure of urban bus drivers to whole-body vibration. In: *Occupational Safety and Hygiene III-Selected Extended and Revised Contributions from the International Symposium on Safety and Hygiene*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 321–324. Citado na página 15.
- BAZANI, A. Pró – transporte e o brasil real: Muito além do vlt e do brt. 2011. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2011/10/29/pro-transporte-e-o-brasil-real-muito-alem-do-vlt-e-do-brt/>>. Citado na página 1.
- BECKER, T. Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano, medições em um grupo de motoristas e ajuste de um modelo biodinâmico. 2006. Citado na página 9.
- BLOOD, R. et al. Whole body vibration exposures in metropolitan bus drivers: A comparison of three seats. *Journal of Sound and Vibration*, Elsevier, v. 329, n. 1, p. 109–120, 2010. Citado 3 vezes nas páginas 12, 16 e 17.
- BLOOD, R. P. et al. Whole-body vibration exposure intervention among professional bus and truck drivers: a laboratory evaluation of seat-suspension designs. *Journal of occupational and environmental hygiene*, Taylor & Francis, v. 12, n. 6, p. 351–362, 2015. Citado na página 14.

BOVENZI, M. Metrics of whole-body vibration and exposure–response relationship for low back pain in professional drivers: a prospective cohort study. *International archives of occupational and environmental health*, Springer, v. 82, n. 7, p. 893–917, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 20.

BOVENZI, M. A longitudinal study of low back pain and daily vibration exposure in professional drivers. *Industrial health*, National Institute of Occupational Safety and Health, v. 48, n. 5, p. 584–595, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 20.

BOVENZI, M.; BETTA, A. Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress. *Applied ergonomics*, Elsevier, v. 25, n. 4, p. 231–241, 1994. Citado 3 vezes nas páginas 3, 13 e 14.

BOVENZI, M.; HULSHOF, C. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986–1997). *International archives of occupational and environmental health*, Springer, v. 72, n. 6, p. 351–365, 1999. Citado 3 vezes nas páginas 3, 13 e 14.

BOVENZI, M. et al. An epidemiological study of low back pain in professional drivers. *Journal of sound and vibration*, Elsevier, v. 298, n. 3, p. 514–539, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 12.

BURDORF, A.; SOROCK, G. Positive and negative evidence of risk factors for back disorders. *Scandinavian journal of work, environment & health*, JSTOR, p. 243–256, 1997. Citado na página 76.

CARNEIRO, L. R. d. V. et al. Sintomas de distúrbios osteomusculares em motorista e cobradores de ônibus. *Rev. bras. cineantropom. desempenho hum*, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

CHAFFIN, D. B.; ANDERSON, G. B.; MARTIN, B. J. *Biomecânica ocupacional*. [S.l.]: Ergo, 2001. Citado na página 20.

CHEN, J.-C. et al. Using “exposure prediction rules” for exposure assessment: an example on whole-body vibration in taxi drivers. *Epidemiology*, LWW, v. 15, n. 3, p. 293–299, 2004. Citado na página 67.

CHRISTENSEN, A. et al. The association between low back pain and fatigue among commercial drivers. *Occupational Medicine & Health Affairs*, OMICS International, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 15.

CNT. Confederação nacional do transporte. *Pesquisa CNT: Perfil dos motoristas de ônibus urbanos*, 2017. Disponível em: <[http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Estudos%20CNT/Pesquisa\\_CNT\\_Perfil\\_dos\\_Motoristas\\_Urbanos\\_2017\\_Internet.pdf](http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Estudos%20CNT/Pesquisa_CNT_Perfil_dos_Motoristas_Urbanos_2017_Internet.pdf)>. Citado na página 2.

CNT. Confederação nacional do transporte. *Anuário CNT do Transporte. Dados do transporte público Urbano*, 2018. Citado na página 2.

COSTA, G. et al. Health conditions of bus drivers in a 6 year follow up study. *Journal of human ergology*, Human Ergology Society, v. 30, n. 1-2, p. 405–410, 2001. Citado na página 14.

CUNHA, I.; GIAMPAOLI, E. Norma de higiene ocupacional: Nho 09: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico. *São Paulo: Fundacentro*, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 33.

DFTRANS. Dados do sistema de transporte público do distrito federal. 2018. Disponível em: <<http://www.dftrans.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/Frota.pdf>>. Citado na página 2.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. Ergonomia prática. rev. ampl. *São Paulo: Edgard Blücher*, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.

FENDRICH, H. Ser motorista de ônibus. 2015. Disponível em: <<http://www.aescotilha.com.br/cronicas/henrique-fendrich/ser-motorista-de-onibus/>>. Citado na página 3.

FERREIRA, C. V.; SCARPIM, A. C. Vibrações ocupacionais: uma revisão da literatura. *Revista Ciência & Saberes-Facema*, v. 1, n. 1, p. 70–74, 2015. Citado 5 vezes nas páginas 2, 9, 18, 20 e 21.

FERREIRA, V. F. *Avaliação das vibrações induzidas ao sistema mão-braço na prática desportiva*. Dissertação (Mestrado), 2015. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 18.

FIGUEIREDO, M. A. d. M.; SILVA, L. F.; BARNABÉ, T. L. Transporte coletivo: vibração de corpo-inteiro e conforto de passageiros, motoristas e cobradores. *Journal of Transport Literature*, SciELO Brasil, v. 10, n. 1, p. 35–39, 2016. Citado 4 vezes nas páginas 2, 10, 13 e 15.

FOULADI, M. H. et al. Evaluation of seat vibration sources in driving condition using spectral analysis. *Journal of Engineering Science and Technology*, Taylor's University College, v. 6, n. 3, p. 339–356, 2011. Citado na página 63.

FREITAS, R.; NAKAMURA, H. Perda auditiva induzida por ruído em motoristas de ônibus com motor dianteiro. *Saúde Rev Piracicaba*, v. 5, n. 10, p. 13–19, 2003. Citado na página 3.

GERGES, S. N. Y. *Ruídos e vibrações veiculares*. [S.l.]: NR, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.

GRIFFIN, M. J. A comparison of standardized methods for predicting the hazards of whole-body vibration and repeated shocks. *Journal of sound and vibration*, Elsevier, v. 215, n. 4, p. 883–914, 1998. Citado na página 19.

HULSHOF, C. Whole-body vibration and low back pain: A review of epidemiologic studies. *Int Arch Occup Environ Health*, v. 58, p. 1–12, 1986. Citado 4 vezes nas páginas 2, 3, 12 e 64.

IBGE. Instituto brasileiro de geografia e estatística. *Censo Demográfico: Características da População e dos Domicílios*, 2010. Citado na página 1.

IIDA, I.; WIERZZBICKI, H. A. Ergonomia. *Projeto e produção*. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

INSS. Fraturas são as quatro principais causas de afastamento por acidente de trabalho no distrito federal. *Dados preliminares Instituto Nacional de Seguridade Social*, 2017. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/noticias/5940-fraturas-sao-as-quatro-principais-causas-de-afastamento-por-acidente-de-trabalho>>. Citado na página 4.

INSS. Ler/dort afastaram 22 mil trabalhadores das atividades profissionais em 2017. *Dados preliminares Instituto Nacional de Seguridade Social*, 2017. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/noticias/6194-ler-dort-afastaram-22-mil-trabalhadores-das-atividades-profissionais-em-2017>>. Citado na página 4.

ISO. *Mechanical Vibration and Shock: Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration. Part 1, General Requirements: International Standard ISO 2631-1: 1997 (E)*. [S.l.]: ISO, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 26.

JIN, K. et al. Risk factors for work-related low back pain in the people's republic of china. *International journal of occupational and environmental health*, Taylor & Francis, v. 6, n. 1, p. 26–33, 2000. Citado na página 14.

JOHANNING, E. Back disorders and health problems among subway train operators exposed to whole-body vibration. *Scandinavian journal of work, environment & health*, JSTOR, p. 414–419, 1991. Citado na página 13.

JOHANNING, E. Back disorder intervention strategies for mass transit operators exposed to whole-body vibration—comparison of two transit system approaches and practices. *Journal of Sound and Vibration*, Elsevier, v. 215, n. 4, p. 629–634, 1998. Citado na página 17.

KELSEY, J. L.; HARDY, R. J. Driving of motor vehicles as a risk factor for acute herniated lumbar intervertebral disc. *American journal of epidemiology*, Oxford University Press, v. 102, n. 1, p. 63–73, 1975. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 15.

KEYSERLING, W. M. Workplace risk factors and occupational musculoskeletal disorders, part 2: A review of biomechanical and psychophysical research on risk factors associated with upper extremity disorders. *AIHAJ-American Industrial Hygiene Association*, Taylor & Francis, v. 61, n. 2, p. 231–243, 2000. Citado na página 14.

KUMAR, A. et al. Effect of whole-body vibration on the low back: a study of tractor-driving farmers in north india. *Spine*, LWW, v. 24, n. 23, p. 2506, 1999. Citado na página 14.

LEWIS, C. A.; JOHNSON, P. Whole-body vibration exposure in metropolitan bus drivers. *Occupational medicine*, Oxford University Press UK, v. 62, n. 7, p. 519–524, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 2, 13 e 17.

MACEDO, C. d. S. G.; BATTISTELLA, L. R. Impacto da lombalgia na qualidade de vida de motoristas de ônibus urbanos. *Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR*, v. 11, n. 3, 2007. Citado na página 14.

MAGNUSSON, M.; POPE, M. A review of the biomechanics and epidemiology of working postures (it isn't always vibration which is to blame!). *Journal of sound and vibration*, Elsevier, v. 215, n. 4, p. 965–976, 1998. Citado na página 15.

MAGNUSSON, M. L. et al. Are occupational drivers at an increased risk for developing musculoskeletal disorders? *Spine*, LWW, v. 21, n. 6, p. 710–717, 1996. Citado 3 vezes nas páginas 12, 13 e 14.

MANSFIELD, N.; MARSHALL, J. Symptoms of musculoskeletal disorders in stage rally drivers and co-drivers. *British journal of sports medicine*, British Association of Sport and Exercise Medicine, v. 35, n. 5, p. 314–320, 2001. Citado na página 14.

- MANSFIELD, N. J. *Human response to vibration*. [S.l.]: CRC press, 2004. Citado 4 vezes nas páginas 18, 19, 20 e 21.
- MARTINS, M. E. G. Introdução à inferência estatística. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2006. Citado na página 38.
- MELO, R. M. B. Exposição ocupacional a vibrações transmitidas ao corpo inteiro: factores condicionantes na condução de autocarros urbanos. 2006. Citado na página 19.
- MESQUITA, L. Crise revela dependência de transporte rodoviário que é 'mais barato e dá voto'. 2018. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-44247460>>. Citado na página 1.
- NOORLOOS, D. et al. Does body mass index increase the risk of low back pain in a population exposed to whole body vibration? *Applied ergonomics*, Elsevier, v. 39, n. 6, p. 779–785, 2008. Citado na página 76.
- OKUNRIBIDO, O. O.; MAGNUSSON, M.; POPE, M. Delivery drivers and low-back pain: A study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier, v. 36, n. 3, p. 265–273, 2006. Citado na página 13.
- 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*, Elsevier, v. 298, n. 3, p. 540–555, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 16.
- OKUNRIBIDO, O. O.; MAGNUSSON, M.; POPE, M. H. The role of whole body vibration, posture and manual materials handling as risk factors for low back pain in occupational drivers. *Ergonomics*, Taylor & Francis, v. 51, n. 3, p. 308–329, 2008. Citado na página 13.
- OKUNRIBIDO, O. O. et al. City bus driving and low back pain: a study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration. *Applied ergonomics*, Elsevier, v. 38, n. 1, p. 29–38, 2007. Citado na página 13.
- PADDAN, G.; GRIFFIN, M. Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*, Elsevier, v. 253, n. 1, p. 215–241, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 16.
- PALMER, K. T. et al. Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in great britain: findings from a national survey. *Occupational and environmental medicine*, BMJ Publishing Group Ltd, v. 57, n. 4, p. 229–236, 2000. Citado na página 15.
- PORTELA, B. S. Vibração de corpo inteiro em motoristas de ônibus: associação com variáveis de aptidão física e dor lombar. 2014. Citado 4 vezes nas páginas 9, 11, 15 e 17.
- PUNNETT, L. et al. Estimating the global burden of low back pain attributable to combined occupational exposures. *American journal of industrial medicine*, Wiley Online Library, v. 48, n. 6, p. 459–469, 2005. Citado na página 13.
- QUINTAS, J. P. R. Metodologia para avaliação de ruído e vibração no corpo humano em navios de transporte de cargas perigosas. 2009. Citado na página 11.

- QUIROVIDA. Consejos ergonómicos a la hora de conducir. 2014. Disponível em: <<https://www.quirovida.com.pe/consejos-ergonomicos-a-la-hora-de-conducir/>>. Citado na página 4.
- ROSEGGER, R. Health effects of tractor driving. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 5, p. 241–275, 1960. Citado na página 14.
- SADRI, G. A model of bus drivers' diseases: risk factors and bus accidents. *Iranian Journal of Medical Sciences*, v. 27, n. 1, p. 39–41, 2015. Citado na página 15.
- SEBASTIÃO, B. A.; MARZIALE, M. H. P. A vibração como um fator de risco para a saúde ocupacional. *Ciência, Cuidado e Saúde*, v. 7, n. 3, p. 385–391, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.
- SEIDEL, H. On the relationship between whole-body vibration exposure and spinal health risk. *Industrial health*, National Institute of Occupational Safety and Health, v. 43, n. 3, p. 361–377, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 20.
- SEKULIĆ, D. et al. Definition and determination of the bus oscillatory comfort zones. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier, v. 53, p. 328–339, 2016. Citado na página 13.
- SILVA, L. F.; MENDES, R. Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores. *Revista de Saúde Pública*, SciELO Public Health, v. 39, p. 9–17, 2005. Citado na página 10.
- SMITH, D. R.; LEGGAT, P. A. Whole-body vibration. *Professional safety*, ASSE AMERICAN SOCIETY OF SAFETY ENGINEERS, v. 50, n. 7, p. 35, 2005. Citado na página 9.
- SOEIRO, N. Vibrações e o corpo humano: uma avaliação ocupacional. In: *I Workshop de*. [S.l.: s.n.], 2011. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 10.
- STATISTICS, N. C. for H. et al. Summary health statistics for us adults: National health interview survey, 2005. *Vital and Health Statistics*, v. 10, n. 222, p. 2004–1550, 2004. Citado na página 14.
- STAYNER, R. Whole-body health effects-vibration or shock. In: *Proceedings 2nd International Conference on Whole-Body Vibration Injuries*. [S.l.: s.n.], 2000. p. 7–9. Citado na página 15.
- STOTT, J.; VIVEASH, J.; KING, S. The transmission of vibration from the hand to the head and its effects on visual stability. *Proceedings of UK Informal Group on Human Response to Vibration*, Army Personnel Research Establishment, 1993. Citado na página 19.
- TIEMESSEN, I.; HULSHOF, C.; FRINGS-DRESEN, M. Low back pain in drivers exposed to whole body vibration: analysis of a dose-response pattern. *Occupational and environmental medicine*, BMJ Publishing Group Ltd, 2008. Citado na página 13.
- TROUP, J. Clinical effects of shock and vibration on the spine. *Clinical Biomechanics*, Elsevier, v. 3, n. 4, p. 232–235, 1988. Citado na página 15.
- TST. Tribunal superior do trabalho. *Relatório Geral da Justiça do Trabalho*, 2017. Disponível em: <<http://www.tst.jus.br/documents/26682/0/Relat%C3%B3rio+Anal%C3%ADtico+e+Indicadores+Reduzido.pdf/04476e8c-2f5b-9d81-e6c9-de581099b8e2>>. Citado na página 4.

WALBER, M. Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais, análise e modificação projetual. 2009. Citado na página 63.

WHITE, A. A.; PANJABI, M. M. et al. *Clinical biomechanics of the spine*. [S.l.]: Lippincott Philadelphia, 1990. v. 2. Citado na página 13.

WILDER, D. et al. The effect of posture and seat suspension design on discomfort and back muscle fatigue during simulated truck driving. *Applied Ergonomics*, Elsevier, v. 25, n. 2, p. 66–76, 1994. Citado na página 13.

YASOBANT, S.; CHANDRAN, M.; REDDY, E. Are bus drivers at an increased risk for developing musculoskeletal disorders. *An ergonomic risk assessment study. J Ergonom*, v. 2015, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.

ZHANG, X.; QIU, Y.; GRIFFIN, M. J. Transmission of vertical vibration through a seat: Effect of thickness of foam cushions at the seat pan and the backrest. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier, v. 48, p. 36–45, 2015. Citado na página 13.