

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO SOFRIDOS POR
MOTORISTAS DE ÔNIBUS URBANOS EM DIFERENTES TIPOS DE PISTAS

por

Elton João Zanol

Dissertação para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

Porto Alegre, Novembro de 2014

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO SOFRIDOS POR
MOTORISTAS DE ÔNIBUS URBANOS EM DIFERENTES TIPOS DE PISTAS

por

Elton João Zanol
Engenheiro Mecânico

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da
Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Profa. Dra. Letícia Fleck Fadel Miguel

Aprovado por:

Prof. Dr. Alberto Tamagna..... PROMEC / UFRGS

Prof. Dr. Walter Jesus Paucar Casas PROMEC / UFRGS

Prof. Dr. Tiago Becker DEMEC / UFRGS

Prof. Dr. Rogério José Marczak
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 17 de Novembro de 2014.

"Deixe o mundo um pouco melhor do que o encontrou."

Robert Baden Powell

AGRADECIMENTOS

Agradeço os professores do PROMEC pelo conhecimento transmitido durante o curso, em especial a professora Letícia F. F. Miguel e o professor Tiago Becker, que me orientaram e ajudaram no desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus amigos e colegas que estiveram comigo durante as aulas, os momentos de estudos e nas viagens semanais até Porto Alegre.

E principalmente, agradeço a minha família que sempre me apoiou e ajudou em todas as escolhas que fiz durante minha vida.

RESUMO

Motoristas de ônibus estão diariamente expostos a vibrações de corpo inteiro (VCI), o que os submetem a riscos de desenvolver problemas de saúde relacionados a essas condições. Numerosos estudos focados em quantificar e identificar os riscos a que os motoristas estão expostos foram desenvolvidos nos últimos anos. Porém, pesquisas mostram que muitos fatores influenciam na transmissão da vibração ao corpo humano. Estradas podem ser consideradas um fator importante na determinação da exposição à VCI que um motorista de ônibus recebe. Nas áreas urbanas, os tipos mais comuns de estradas encontradas são: asfalto bom, asfalto irregular, paralelepípedo, estrada de chão, estradas esburacadas, entre outros. O objetivo deste estudo é determinar se diferentes tipos de estradas, encontradas em vias urbanas, provocam diferentes respostas de VCI; e determinar a influência de cada tipo de estrada na exposição à VCI de acordo com a norma ISO 2631-1 (1997). Dois motoristas diferentes guiaram o mesmo ônibus urbano sobre diferentes tipos de pista: asfalto regular, paralelepípedo e estrada de chão, caracterizando condições comuns nas cidades brasileiras. Para avaliar as vibrações transmitidas ao condutor, valores de aceleração foram registrados usando um acelerômetro tipo *seat-pad* montado no assento do motorista. Os resultados mostraram que o tipo de terreno que mais afeta a vibração de corpo inteiro no motorista é o paralelepípedo. Também foi possível detectar a ineficiência da poltrona do motorista quanto à absorção da vibração. Finalmente, observou-se que os motoristas não tiveram influência significativa nos resultados finais.

Palavras-chave: Vibração de corpo inteiro; Ônibus; Motoristas; ISO 2631.

ABSTRACT

Bus drivers are daily exposed to whole-body vibrations (WBV) submitted to risks for develop health problems related to these conditions. Numerous studies focused to quantify and identify the risks that drivers are exposed have been developed in recent years. Many factors influence the transmission of vibration to the body. Road type may be an important factor in determining the WBV exposure which a bus driver receives. In urban areas, common types of routes include several road surfaces like: smooth highway, older rough freeway, pavement, bumpy, speed humps, and others. The purpose of this study is to determine whether different kinds of road surfaces, found in urban routes, cause different WBV responses, and determine the influence for each road type in daily exposure to WBV according the standard ISO 2631-1 (1997). Two different drivers drove the same urban bus over a route which included three road types: a rougher old freeway, a city street segment with pavement, and a road bumpy segment, characterizing the conditions of most Brazilian cities. To assess vibrations transmitted to the driver, vibration values were recorded using a seat pad accelerometer mounted on the driver's seat. The results showed that the road type with the highest level of whole body vibration on the driver is the asphalt. It was also possible to detect the inefficiency of the driver's seat as the vibration absorption. Finally, it was observed that the drivers had no significant influence on the final results.

Keywords: Whole-body-vibration; Bus; Drivers, ISO 2631.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Abordagem geral	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Estrutura do trabalho	4
2	ESTUDO DE VIBRAÇÕES NO CORPO HUMANO	6
2.1	Efeito da vibração no corpo humano	9
2.1.1	Comportamento dinâmico do corpo humano	11
2.2	Alteração do anexo 8 da NR 15	13
2.3	Norma ISO 2631	14
2.4	Outras normas relacionadas à vibração no corpo humano	18
2.5	Transmissibilidade - SEAT	19
2.6	Parâmetros de medição relacionados à vibração	22
2.6.1	Análise de variância - Formulação matemática para dois fatores com réplica	23
3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	27
3.1	Veículo	27
3.2	Poltrona do motorista	28
3.3	Instrumentação	29
3.3.1	Equipamentos utilizados	30
3.4	Motoristas	33
3.5	Trajetos	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1	Análise das vibrações no domínio da frequência	39

4.2	Avaliação das acelerações ponderadas e comparação entre os trechos	43
4.2.1	Análise de variância dos resultados	49
4.2.2	Avaliação entre os trechos considerando a média entre os motoristas	53
4.3	Avaliação dos dados segundo ACGIH	55
4.4	Avaliação do fator de transmissibilidade SEAT	57
4.5	Avaliação do trecho regular	61
4.5.1	Análise das vibrações no domínio da frequência	61
4.5.2	Avaliação das acelerações ponderadas	63
4.5.3	Avaliação segundo curvas ACGIH	65
4.5.4	Análise da transmissibilidade SEAT	66
5	CONCLUSÕES	70
5.1	Trabalhos futuros	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	APÊNDICE A - Resultados das acelerações em cada medição	76
	APÊNDICE B - Valores de aceleração obtidos em cada medição	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frequências naturais de cada parte do corpo humano.	11
Figura 2 – Coluna vertebral humana.	12
Figura 3 – Sistemas de coordenadas de medição no corpo humano.	16
Figura 4 – Curvas de limites para conforto e saúde em relação ao eixo z do corpo humano...	19
Figura 5 – Transmissibilidade entre base e assento para uma poltrona de ônibus urbano.	21
Figura 6 – Poltrona de motorista testada em dispositivo de ensaios de vibração (<i>shaker</i>).	22
Figura 7 – Veículo utilizado para coleta de dados.....	28
Figura 8 – Poltrona do motorista.	29
Figura 9 – Acelerômetro triaxial (a) e <i>seat pad</i> (b).	30
Figura 10 – Sistema de aquisição Pulse instalado no interior do veículo.	31
Figura 11 - Esquema da coleta e aquisição dos dados.....	32
Figura 12 – Acelerômetro tipo <i>seat pad</i> instalado sobre o assento da poltrona do motorista. .	33
Figura 13 – Acelerômetro triaxial instalado na base da poltrona do motorista.	33
Figura 14 - Representação do trecho de asfalto.....	36
Figura 15 - Representação do trecho de chão.....	37
Figura 16 – Representação do trecho de paralelepípedo.	38
Figura 17 - Aceleração rms média em cada trecho, sem ponderação, medida no assento	40
Figura 18 - Aceleração rms média, sem ponderação, medida na base da poltrona.	41
Figura 19 – Aceleração rms ponderada (a_w) no assento do motorista 1.....	46
Figura 20 - Aceleração rms ponderada (a_w) no assento do motorista 2.	46
Figura 21 – Resultado da aceleração ponderada resultante, a_w , para cada terreno.....	49
Figura 22 - Aceleração rms ponderada (a_w) média, medida no assento dos motoristas.....	54

Figura 23 – Curvas ACGIH para o trecho de asfalto.	55
Figura 24 - Curvas ACGIH para o trecho de chão.	56
Figura 25 - Curvas ACGIH para o trecho de paralelepípedo.	56
Figura 26 - Transmissibilidade calculada para o motorista 1.	58
Figura 27 - Transmissibilidade calculada para o motorista 2.	59
Figura 28 – Aceleração rms média medida na base e no assento para ambos motoristas.	62
Figura 29 - Aceleração rms ponderada média no assento para o trecho regular.	63
Figura 30 - Curvas ACGIH para o trecho regular.	66
Figura 31 – Transmissibilidade no trecho regular.	68
Figura 32 - Transmissibilidade calculada para o motorista 1.	68
Figura 33 - Transmissibilidade calculada para o motorista 2.	69
Figura A1 - Motorista 1 – Asfalto 1	76
Figura A2 - Motorista 1 – Asfalto 2	76
Figura A3 - Motorista 1 – Asfalto 3	77
Figura A4 - Motorista 1 – Chão 1	77
Figura A5 - Motorista 1 – Chão 2	78
Figura A6 - Motorista 1 – Chão 3	78
Figura A7 - Motorista 1 – Paralelepípedo 1	79
Figura A8 - Motorista 1 – Paralelepípedo 2	79
Figura A9 - Motorista 1 – Paralelepípedo 3	80
Figura A10 - Motorista 1 – Trecho Regular	80
Figura A11 - Motorista 2 – Trecho Regular	81
Figura A12 - Motorista 2 – Asfalto 1	81
Figura A13 - Motorista 2 – Asfalto 2	82

Figura A14 - Motorista 2 – Asfalto 3	82
Figura A15 - Motorista 2 – Chão 1	83
Figura A16 - Motorista 2 – Chão 2	83
Figura A17 - Motorista 2 – Chão 3	84
Figura A18 - Motorista 2 – Paralelepípedo 1	84
Figura A19 - Motorista 2 – Paralelepípedo 2	85
Figura A20 - Motorista 2 – Paralelepípedo 3	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ponderação segundo a direção da medição.....	16
Tabela 2 - Valores de ponderação para cada faixa de frequência.....	17
Tabela 3 - Teste ANOVA.....	25
Tabela 4 - Características individuais de cada motorista.....	34
Tabela 5 - Velocidades e distâncias de cada trecho medido.....	35
Tabela 6 - Aceleração rms média para cada trecho, medida no assento.....	40
Tabela 7 - Aceleração rms média para cada trecho, medida na base da poltrona.....	41
Tabela 8 - Aceleração rms ponderada (a_w), em cada medição, para o motorista 1.....	45
Tabela 9 - Aceleração rms ponderada (a_w), em cada medição, para o motorista 2.....	47
Tabela 10 - Aceleração ponderada resultante (a_w) para cada trecho.....	48
Tabela 11 - Média da aceleração ponderada resultante (a_w) entre motoristas.....	48
Tabela 12 - Parâmetros de análise utilizados.....	50
Tabela 13 - Amostragem total dos dados.....	51
Tabela 14 - Somatório dos valores do fator A (motorista).....	51
Tabela 15 - Somatório dos valores do fator B (pista).....	51
Tabela 16 - Somatório das réplicas de cada fator.....	52
Tabela 17 - Resultados do teste ANOVA.....	52
Tabela 18 - Aceleração rms ponderada (a_w) média.....	54
Tabela 19 - Transmissibilidade calculada para o motorista 1 em cada medição.....	58
Tabela 20 - Transmissibilidade calculada para o motorista 2 em cada medição.....	59
Tabela 21 - Aceleração rms média do trecho regular.....	62
Tabela 22 - Aceleração rms ponderada (a_w) medida no trecho regular.....	64

Tabela 23 - Aceleração rms ponderada resultante (a_w) medida no trecho regular.....	65
Tabela 24 - Aceleração ponderada resultante (a_w) de todos os perfis de pistas medidos...	65
Tabela 25 - Transmissibilidade para cada motorista medida no trecho regular.....	67
Tabela B1 - Aceleração rms medida no asfalto para motorista 1.....	86
Tabela B2 - Aceleração rms medida na estrada de chão para motorista 1.....	87
Tabela B3 - Aceleração rms medida no paralelepípedo para motorista 1.....	88
Tabela B4 - Aceleração rms medida no asfalto para motorista 2.....	89
Tabela B5 - Aceleração rms medida na estrada de chão para motorista 2.....	90
Tabela B6 - Aceleração rms medida no paralelepípedo para motorista 2.....	91
Tabela B7 - Aceleração rms medida no trecho regular.....	92

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ISO	<i>International Organization Standardization</i>
NR	Norma regulamentadora
VCI	Vibração de Corpo Inteiro
VMB	Vibração de mãos e braços
rms	<i>root-mean-square</i>
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
SEAT	<i>Seat Effective Amplitude Transmissibility</i>
BS	British Standard

LISTA DE SÍMBOLOS

$SEAT_{rms}$	Fator de transmissibilidade, adimensional
$SEAT_{\%}$	Fator de transmissibilidade, porcentagem
W_i	Fator de ponderação, adimensional
T	Duração da medição, s
a_i	Aceleração ponderada em função do tempo, m/s^2
f	Frequência, Hz
$a_{w,seat}$	Aceleração ponderada medida no assento, m/s^2
$a_{w,floor}$	Aceleração ponderada medida no assoalho, m/s^2
a_w	Aceleração ponderada, m/s^2
\bar{x}	Média aritmética de uma amostragem
σ	Desvio padrão de uma amostragem
N	Número de amostragens
$f(t)$	Função no domínio do tempo
Δt	Intervalo de tempo, segundos
SQT	Soma total de quadrados dos desvios em relação a média
SQA	Soma dos quadrados entre as linhas
SQB	Soma dos quadrados entre as colunas
SQI	Soma dos quadrados das interações
SQE	Soma dos quadrados dos erros
H_0	Hipótese 0
H_1	Hipótese 1

r	Número de fatores de linha
c	Número de fatores de coluna
m	Número de réplicas
QMA	Quadrado médio do efeito linha
QMB	Quadrado médio do efeito coluna
QMI	Quadrado médio do efeito da interação AB
QME	Quadrado médio do erro
\bar{y}_j	Média do fator A
\bar{y}_k	Média do fator B
\bar{y}_{jk}	Média dos fatores A e B
y_{ijk}	Soma total dos quadrados da amostragem
\bar{y}	Média geral da amostragem
F_{cal}	F calculado
F_{tab}	F tablado pela distribuição de Fisher
$u(t)$	Amostragem de um sinal no tempo
$F(w)$	Transformada rápida de Fourier
N	Quantidade de unidades em uma amostragem qualquer

1 INTRODUÇÃO

1.1 Abordagem geral

Segundo dados do Anuário da Indústria Automobilística Brasileira de 2013, publicado pela ANFAVEA em 2014, em 2013 foram licenciados 32.918 ônibus no Brasil. Esse número é considerado pelas empresas do setor automotivo como recorde. Entre o total de veículos fabricados no Brasil, 17.500 correspondem a ônibus urbanos, ou seja, 45% do total da produção no país.

Esses números positivos para a indústria de ônibus urbanos indicam o crescimento do setor, uma mudança benéfica para o trânsito, para o meio ambiente e para a saúde e o bem-estar de toda a sociedade. A necessidade de melhorias na qualidade do transporte público coletivo nas grandes cidades brasileiras tornou-se o centro das atenções no ano de 2013 e possui perspectivas de continuar sendo um assunto de crescente interesse de toda a sociedade para os anos que se seguem.

Além dos benefícios para o trânsito, meio ambiente e saúde da sociedade, que a utilização do transporte público implica em relação à utilização do transporte particular, o setor de transporte coletivo emprega cerca de 537.000 pessoas diretamente. Isso impacta fortemente na economia do país, pois atualmente existe cerca de 2.000 empresas operadoras de ônibus urbanos e metropolitanos no Brasil. A participação do ônibus no transporte público coletivo brasileiro é de 86,8%, e 40 milhões de passageiros são transportados diariamente. Para suportar tal demanda, 220.000 motoristas são empregados no setor de transporte coletivo (ANUONI, 2014).

A quantidade expressiva de profissionais nessa área, aliada à perspectiva de crescimento do setor, mobiliza alguns órgãos do governo a tomarem medidas preventivas quanto às condições de trabalhos dos motoristas de ônibus urbanos. Tais medidas se dão basicamente por meio de leis e normas regulamentadoras que visam garantir aos trabalhadores as condições necessárias para o desempenho da função, evitando problemas de saúde física e emocional.

Já é conhecido que, em suas jornadas de trabalho, os motoristas estão expostos a diversos fatores que podem interferir na sua qualidade de vida. Condições de trabalho, condições ergonômicas, fadiga e estresse, interferem diretamente na qualidade de vida e saúde

dos condutores (PEREIRA *et al.*, 2010). Fatores como a ergonomia possuem parâmetros que permitem a adaptação das condições de trabalho aos motoristas, proporcionando o máximo conforto e segurança aos trabalhadores dessa área. Esses parâmetros são estabelecidos pela Norma Regulamentadora 17 (NR 17), do Ministério do Trabalho. Porém, outros fatores como estresse, fadiga e segurança, não são passíveis de normas regulamentadoras que estabeleçam limites.

O Ministério do Trabalho, por meio da norma regulamentadora NR 15, classifica as atividades e operações que exponham os trabalhadores, sem a proteção adequada, às vibrações localizadas ou de corpo inteiro, como insalubres. No Anexo 8 da NR 15, é definido que os níveis de vibração sofridos pelos motoristas devem atender os limites estabelecidos pela norma internacional ISO 2631-1 (1997). Recentemente, o texto do Anexo 8 da NR 15 tem passado por revisão por meio de uma consulta pública, a fim de receber sugestões de empresas e profissionais da área para elaboração de um texto mais específico e adequado à infraestrutura brasileira de transporte coletivo (MTE, 2014).

Segundo texto da própria ISO 2631-1 (1997), que estabelece os requisitos gerais para a avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro, veículos expõem pessoas a vibrações mecânicas do tipo periódicas, aleatórias e transientes, as quais podem interferir no conforto, nas atividades e na saúde dos seus ocupantes. Além disso, muitos estudos dedicados a quantificar e identificar os riscos à que os motoristas estão expostos, relacionados à vibração de corpo inteiro, tem sido desenvolvidos nos últimos anos. Mesmo assim, existe ainda dados suficientes para identificar as condições atuais de exposição à vibração de corpo inteiro de trabalhadores do setor de transporte público no país, nem as consequências sobre a saúde das pessoas. Essa falta de conhecimento sobre a relação causa e efeito da vibração de corpo inteiro em ônibus torna difícil o trabalho dos órgãos públicos na tentativa de garantir as condições de trabalho para os motoristas de ônibus urbanos no Brasil.

Dessa forma, a revisão de uma norma que regulamente as atividades que expõe os trabalhadores a vibrações de corpo inteiro, no caso citado, a NR 15, deveria incluir considerações sobre a necessidade de se obter mais dados a respeito das condições atuais de exposição de trabalhadores à vibração e de trabalhar na melhor maneira de quantificar essas exposições, considerando-se os diversos fatores que podem influenciar no resultado efetivo de uma medição de vibração.

Sabe-se que muitos fatores influenciam na transmissão da vibração do veículo para o corpo. Muitos trabalhos na área foram desenvolvidos, apontando fortes relações entre a vibração de corpo inteiro (VCI) e fatores como: tipo de pavimento sobre o qual o veículo se desloca; diferenças físicas e do modo de dirigir entre os motoristas; sistema de suspensão dos veículos; pressão interna dos pneus; poltrona do motorista; entre outros (Andrusaitis, 2004; Anflor, 2002; Chaffin, 1999; Griffin, 1990; Magnusson, 1998; Palmer et al, 2000; Stayner, 2000;). Essa diversidade de relações entre a amplitude de vibração resultante no motorista e os fatores que a influenciam, justificam a dificuldade de se mapear de forma adequada as condições atuais de exposição à VCI a qual os motoristas estão expostos.

Para cada fator mencionado anteriormente, um estudo aprofundado sobre a influência que cada um possui sobre o resultado final da VCI no motorista pode gerar uma quantidade significativa de material de pesquisa, o qual não seria possível de se desenvolver em uma dissertação. Mesmo analisando apenas um item, como o tipo de pavimento sobre o qual o veículo se desloca, por exemplo, percebe-se que as possibilidades de se encontrar diferentes tipos de pistas são tão diversas quanto às características de cada região do Brasil, onde se encontram os mais variados tipos e qualidades de estradas.

O transporte público no Brasil existe em todas as capitais e nas principais cidades de todos os estados. Para um país de dimensões continentais como o Brasil, um mapeamento de todos os tipos de estradas encontradas, por onde circulam ônibus de transporte coletivo, é uma tarefa quase impossível. Assim, no setor de transporte público, as condições de pavimentação das vias públicas devem ser determinantes para a ocorrência de situações em que a exposição à VCI represente um risco para os motoristas, permitindo uma avaliação quantitativa da influência das condições da via sobre os níveis de vibração que serão encontrados no setor de transportes.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo principal medir e avaliar os níveis de aceleração sofridos por motoristas de ônibus urbanos causados por diferentes tipos de pistas encontrados nas principais cidades onde existe o transporte público, e determinar a influência de cada perfil de pista sobre o resultado da vibração de corpo inteiro sobre o motorista. Para essa avaliação, será utilizada como referência para medição e análise a norma ISO 2631-1 (1997),

por ser uma norma largamente utilizada e aceita no mundo todo como padrão para esse tipo análise.

Para atingir tal objetivo principal, tendo em vista a abordagem geral feita na seção anterior, alguns pontos específicos precisam ser estudados para o desenvolvimento do trabalho. Desta forma, os tópicos abordados como objetivos específicos desse trabalho são:

- a) Definir os locais a serem medidos, selecionando trechos de estradas específicos, os quais sejam representativos dos tipos de estradas mais comumente encontradas nas cidades brasileiras;
- b) Selecionar as pessoas adequadas para a realização do ensaio: Motoristas com as características físicas e técnicas necessárias para atender as necessidades das medições;
- c) Coletar os dados experimentais de acordo com as indicações da norma ISO 2631-1 (1997);
- d) Fazer as análises necessárias quanto à determinação dos níveis de vibração que chegam até o motorista durante a rodagem do veículo;
- e) Avaliar a influência entre os diferentes motoristas no resultado final do trabalho;
- f) Avaliar a transmissibilidade da poltrona do motorista, avaliando as amplitudes de vibração que chegam até a base da poltrona do motorista e passam para o assento, chegando até o corpo do condutor.

1.3 Estrutura do trabalho

Para desenvolver esse trabalho, primeiramente serão coletados os dados de vibração no posto do motorista, tanto na base da poltrona quanto no assento, conforme indicado pela norma ISO 2631-1 (1997). Com a coleta dos dados realizada, os mesmos serão analisados a fim de se obter um valor efetivo de aceleração que chega ao corpo motorista pela poltrona. Uma vez definido quantitativamente o nível de vibração para cada motorista em cada condição, será desenvolvida uma análise comparativa para averiguar a influência de cada motorista trafegando em cada trecho da estrada. Por fim, uma análise de transmissibilidade será feita para a poltrona, definindo sua eficiência quanto à absorção da vibração.

Desta forma, o presente trabalho foi dividido em 5 capítulos, descritos a seguir. A introdução é feita no capítulo 1 e é seguida por uma revisão bibliográfica no capítulo 2, onde

são apresentados os principais tópicos sobre vibrações de corpo humano, normas e trabalhos desenvolvidos anteriormente na área.

No terceiro capítulo, são apresentados os procedimentos experimentais utilizados, bem como a descrição dos equipamentos e a metodologia do trabalho. Este capítulo descreve detalhadamente cada recurso utilizado nas medições como instrumentos, veículos e equipamentos, bem como descreve os métodos desenvolvidos para a medição dos trechos, as distâncias percorridas e as características dos motoristas utilizados nos ensaios.

O capítulo 4 apresenta todos os resultados referentes às medições e análise dos dados coletados. Juntamente com os resultados, alguns comentários são desenvolvidos, a fim de explicar detalhadamente cada resultado obtido, guiados pelos objetivos específicos citados na seção anterior.

No quinto capítulo, as conclusões e outras observações sobre os resultados do trabalho são apresentadas, bem como trabalhos futuros sugeridos. Os apêndices, ao final do trabalho, mostram com mais detalhes os dados obtidos com tabelas e gráficos sobre as medições da vibração.

2 ESTUDO DE VIBRAÇÕES NO CORPO HUMANO

O estudo das vibrações no corpo humano e seus efeitos tem tomado um papel importante nas diversas áreas da engenharia desde o surgimento das máquinas móveis como tratores, automóveis, trens e aviões, no início do século XX. Pode-se afirmar que com a difusão das máquinas motorizadas nas tarefas diárias das pessoas, como a mecanização do trabalho, por exemplo, o número de pessoas expostas aos efeitos da vibração de corpo inteiro aumentou consideravelmente. Essa crescente exposição das pessoas às atividades relacionadas a altos níveis de vibração mecânica, junto com a evidência de que a vibração de corpo inteiro pode causar danos à saúde, inspirou uma série de trabalhos voltados ao estudo da saúde ocupacional de pessoas expostas a atividades diárias com elevados níveis de vibração mecânica (Stayner, 2001).

Griffin (1990) afirma que o estudo das vibrações ocupacionais no corpo humano podem fornecer informações importantes sobre o ambiente ao qual o trabalhador está exposto e determinar como o corpo humano se comporta quando submetido a tais condições. Esse conhecimento específico sobre uma determinada tarefa se torna importante no contexto do projeto de máquinas e equipamentos. Uma vez conhecidas as condições de trabalho dos operadores desses equipamentos, os engenheiros podem trabalhar focados na eliminação ou atenuação das vibrações, para garantir aos trabalhadores as condições necessárias de saúde e conforto durante a utilização dessas máquinas e equipamentos.

Mais especificamente, quando se aborda a área de vibrações de corpo inteiro (VCI) provocadas por veículos automotores, encontram-se uma série de trabalhos que buscam identificar os níveis de exposição à VCI de motoristas e passageiros no interior dos veículos, e as principais variáveis que interferem no processo de transmissão da vibração do veículo para as pessoas. No trabalho de Blood *et al.* (2010), foram estudadas as diferenças nos níveis de exposição à VCI em motoristas de ônibus na América do Norte utilizando três assentos diferentes para motoristas.

Sherwin *et al.* (2004) identificaram, com um estudo experimental, que a redução na pressão dos pneus de tratores florestais reduz significativamente o nível de vibração a que os operadores são expostos.

O efeito de diferentes os motoristas de ônibus também foi investigado. Milosavljevic *et al.* (2011), por exemplo, avaliaram os níveis de VCI medidos em diversos motoristas de

ônibus com características físicas e cognitivas diferentes. Segundo estes autores, fatores como idade, índice de massa corporal, condições de trabalho e forma de dirigir interferem no nível de VCI a que os motoristas estão expostos.

Outro fator bastante estudado como sendo influente no resultado do nível da VCI em motoristas e passageiros é o perfil das pistas pelo qual o veículo está se deslocando. Nahvi *et al.* (2009) analisaram as vibrações sofridas por passageiros de veículos de passeio em diversos tipos de terrenos urbanos. Os resultados de seus estudos mostram forte relação entre os níveis de vibração sofridos pelos ocupantes dos veículos e o tipo de pavimento como asfalto, paralelepípedo e estrada de chão.

Thamsuwan *et al.* (2012) estudaram a influência dos perfis de pista em cidades e autoestradas com dois modelos de ônibus diferentes. Verificaram que a influência do tipo de pista na vibração de corpo inteiro sofrida pelos motoristas é significativamente grande.

Balbinot (2001) desenvolveu um estudo experimental para verificar os níveis de vibração aos quais os motoristas de ônibus urbanos da cidade Porto Alegre estão expostos. Foram feitas medições em estradas de asfalto regular, asfalto de má qualidade e estradas de paralelepípedo. Os resultados de seu estudo mostraram que para diferentes tipos de pistas, os níveis de aceleração medidos são diferentes, além de identificar níveis de aceleração mais elevados em determinadas faixas de frequência.

No intuito de identificar os efeitos da VCI em pessoas sentadas, que no caso referem-se a passageiros e motoristas de veículos automotores, Becker (2006) desenvolveu uma mesa vibratória capaz de produzir movimentos verticais para ser usada em estudos de VCI em pessoas sentadas. Nesse estudo, o autor buscou estimar os parâmetros do comportamento dinâmico do corpo humano em indivíduos residentes no Brasil, comparando-os com estudos já existentes, a fim de verificar possíveis diferenças e contribuir com a base de dados internacional sobre o assunto.

Walber (2009) desenvolveu uma pesquisa para avaliar os níveis de vibrações aos quais os passageiros de ônibus intermunicipais estão submetidos. Em seu trabalho, Walber (2009) buscou verificar os níveis de vibrações em diferentes locais no interior do ônibus obtendo, assim, dados quantitativos para propor uma mudança conceitual do projeto estrutural da carroceria do ônibus, buscando atenuar os efeitos das vibrações nos passageiros. Esse tipo de trabalho vai ao encontro da aplicação dos resultados de estudos na área de VCI nos projetos de engenharia mecânica, fazendo com que o engenheiro, na fase de desenvolvimento do

projeto, preocupe-se com o conforto e a saúde de motoristas e passageiros de veículos de transporte.

Seguindo na linha de estudos da VCI em motoristas de veículos pesados, Bortolini (2012) desenvolveu um estudo experimental dos níveis de acelerações aos quais motoristas de caminhões estão expostos durante a operação destes veículos. As medições foram realizadas com um caminhão 6x4, ao qual foi acoplado um semirreboque graneleiro. Os testes foram realizados em uma série de pistas padronizadas e também em vias públicas. O autor identificou uma diferença significativa nos resultados de vibração sofridos pelos motoristas quando estes trafegam por um trecho de asfalto em boas condições, em comparação com os demais tipos de estradas.

Alguns estudos indicam que as vibrações na saúde humana, quanto relacionadas à vibração de corpo inteiro em motoristas, estão intimamente relacionadas a problemas de dores nas costas e desgastes na coluna cervical. Andrusaites (2004) analisou os dados de 410 caminhoneiros entrevistados sobre dores corporais relacionadas às suas atividades. 59% dos caminhoneiros apresentaram lombalgia, ou seja, dores na região lombar. Na mesma linha de pesquisa, Lemos (2007) entrevistou 470 profissionais da área de transporte de cargas. Entre os entrevistados, 29,7 % apontaram que sentem dores na região lombar e 53,6 % apresentam dores em alguma região do corpo.

Mesmo com tantos estudos voltados à identificação da relação entre VCI e danos à saúde e conforto de trabalhadores, ainda faltam evidências e há uma carência de dados conclusivos sobre o assunto. Palmer *et al.* (2001) realizaram uma extensa pesquisa na Europa com 21.201 homens e mulheres que exerciam atividades que envolviam vibrações, tanto de corpo inteiro quanto de mãos e braços. Os resultados de suas pesquisas apontaram evidências contrárias à relação entre dores no pescoço a atividade ocupacional relacionada. Os dados sugeriram que fatores psicológicos podem ser mais significativos do que a atividade em si.

Dessa forma, muito ainda deve ser feito nessa área com o intuito de qualificar e quantificar a real relação entre VCI e os danos à saúde das pessoas (Becker, 2006).

2.1 Efeito da vibração no corpo humano

A vibração no corpo humano é influenciada por diversos fatores ambientais como a duração da exposição, amplitude de vibração, frequências de vibração predominantes; e também por fatores fisiológicos de cada indivíduo como frequência de ressonância de cada parte do corpo humano, peso da pessoa, postura, resposta dinâmica do corpo a cada frequência de excitação e uma série de outras variabilidades individuais de cada pessoa (Griffin, 1990; Tripepi *et al.*, 2000; Stayner, 2000).

Segundo Griffin (1990), a vibração no corpo humano pode ser dividida em dois grandes grupos: vibração de corpo inteiro (VCI) e vibração nos segmentos mãos e braços. As VCI ocorrem quando a massa do corpo está apoiada sobre uma superfície vibrante, como um motorista sentado na poltrona de um veículo em funcionamento ou o operador de uma prensa de pé na frente do equipamento recebendo toda a vibração transmitida do equipamento para o piso. Vibrações de mãos e braços ocorrem quando uma pessoa manuseia um equipamento gerador de vibrações como um operador da construção civil utilizando uma britadeira, ou um funcionário de uma metalúrgica utilizando uma esmerilhadeira.

Os prováveis efeitos da exposição às vibrações de corpo inteiro, que são atualmente aceitos e aparecem em normas internacionais como a ISO 2631-1 (1997), são dores lombares, problemas no sistema circulatório, problemas no sistema urológico, distúrbios no sistema nervoso central, fadiga, insônia e dor de cabeça.

Esses efeitos da vibração sobre o corpo humano são determinados pela faixa de frequência envolvida. Estudos na área apontam que cada órgão e cada parte do corpo humano possuem uma frequência na qual, se excitados, geram tais efeitos mencionados anteriormente (Klingenshiema *et al.*, 1987; Griffin, 1990; Tripepi *et al.*, 2000; Stayner, 2000; Ishitake *et al.*, 2000).

Nas atividades posturais e musculares, na faixa de 1 a 30 Hz, a maioria das pessoas apresenta dificuldades em manter a postura e seus reflexos diminuem. O sistema cardiovascular, em frequências inferiores a 20 Hz, apresenta um aumento da frequência cardíaca. Quando expostas a frequências na faixa de 1 a 10 Hz, aparentemente, a maioria das pessoas apresenta alterações nas condições de ventilação pulmonar e na taxa respiratória. E, para frequências mais baixas, inferiores a 1 Hz, diversas pessoas apresentam enjoos, náuseas,

perda de peso, alteração da visão, insônia, desordens no labirinto e cólicas (Chaffin *et al.*, 1999).

Segundo Griffin (1990), o corpo humano pode ser afetado por faixas de frequências de 0,5 a 100 Hz. Observando-se as frequências naturais de cada parte do corpo humano, indicadas pela Figura 1, pode-se perceber que todas as partes do corpo humano possuem frequências naturais dentro da faixa proposta por Griffin (1990), lembrando que as frequências naturais podem variar de indivíduo para indivíduo.

Essas faixas de frequências influentes no corpo humano foram estudadas e avaliadas experimentalmente por Anflor (2003). O autor avaliou a transmissibilidade da vibração no corpo humano na posição sentado em uma poltrona de motorista de ônibus comumente utilizada no transporte coletivo de pessoas. Anflor (2003) propôs um modelo elástico linear de quatro graus de liberdade para representar o sistema poltrona e corpo humano. As medições foram realizadas ao longo do eixo z , vertical, na região da base da poltrona, do assento, na pélvis, no ombro e na cabeça do indivíduo sentado. O autor também propôs, com os resultados do seu trabalho, que a musculatura, órgãos internos e vértebras, funcionam como amortecedores pra atenuarem a vibração transmitida ao longo do corpo humano. Anflor (2003) também verificou que em frequências próximas de 20,3 Hz, houve uma tendência de amplificação da vibração na região da cabeça, o que condiz com os dados da Figura 1, onde a cabeça possui frequência de ressonância próxima de 25 Hz.

Estudos na área de vibração no corpo humano, como os mencionados anteriormente, foram de grande valia para a composição de uma base de dados, que mesmo ainda carecendo de complementação, foram suficientes para a elaboração de normas internacionais que definem os limites de vibração à que os trabalhadores estão expostos bem como a metodologia para quantificar tais vibrações.

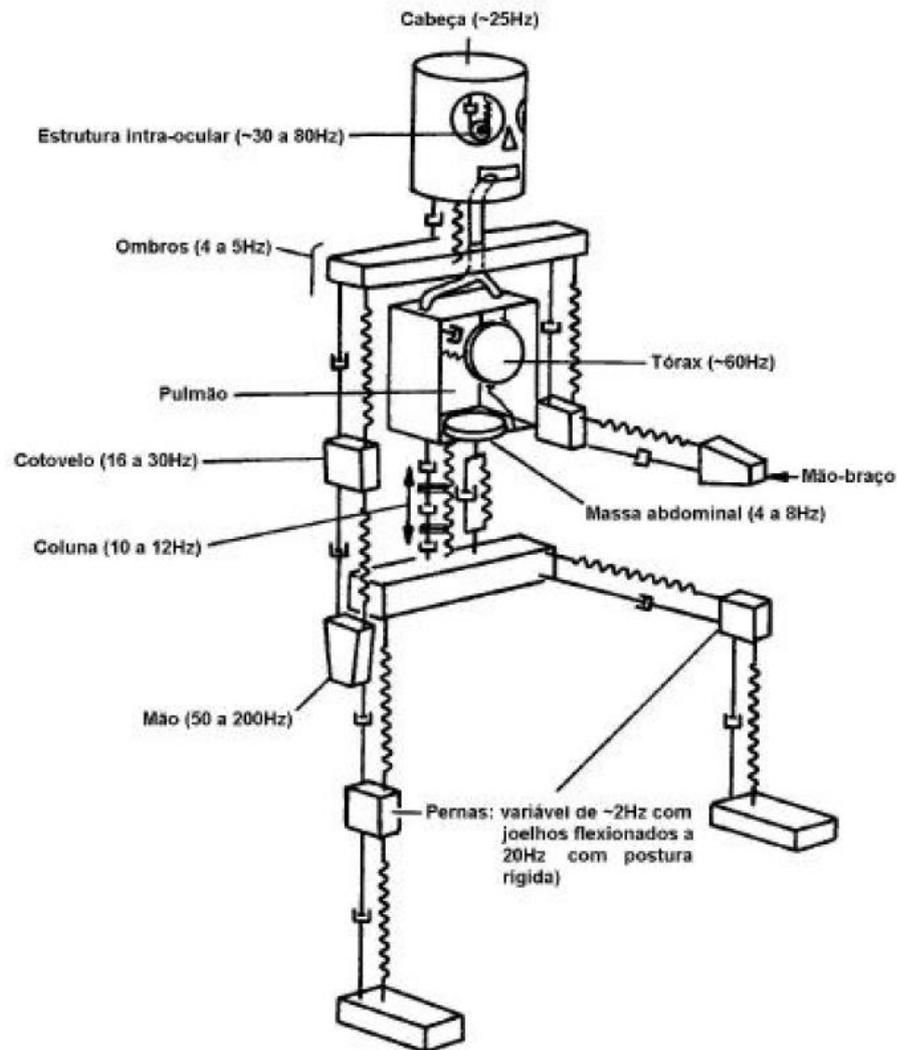


Figura 1 - Frequências naturais de cada parte do corpo humano.

Fonte: Brüel&Kjaer, 2000.

2.1.1 Comportamento dinâmico do corpo humano

Mesmo carecendo de dados científicos que comprovem a relação de problemas fisiológicos com as vibrações de corpo inteiro, muito se estuda e se referencia à coluna vertebral quando se trata do assunto de doenças ocupacionais.

Na presente dissertação, mesmo não se fazendo uma análise aprofundada da anatomia humana para relacionar o assunto de vibração ocupacional com possíveis doenças relacionadas à coluna vertebral, são abordados alguns tópicos específicos sobre o comportamento dinâmico do corpo humano.

A Figura 2 mostra uma representação da coluna vertebral humana, com as suas principais nomenclaturas e divisões. A coluna é formada por 33 vértebras divididas em três regiões: a cervical, com 7 vértebras; a torácica, com 12 vértebras; e a lombar, com 5 vértebras. Além dessas divisões, existe a região do sacro, com 5 vértebras fundidas e o cóccix, formado por 4 vértebras rudimentares, também fundidas entre si.

As vértebras são nomeadas de acordo com a posição ao longo da coluna. As 7 vértebras que compõem a região cervical são nomeadas C1 a C7, de cima para baixo. As doze vértebras da região torácica são nomeadas de T1 a T12. As vértebras lombares são chamadas de L1 a L5. As 5 vértebras da região sacral são nomeadas de S1 a S5.

Entre as vértebras são encontradas os discos fibrocartilagosos, e são responsáveis por absorver parte dos esforços colocados sobre a coluna e também protegem as vértebras. São discos contínuos com camadas de cartilagem hialina nas faces superior e inferior. O formato do disco depende do formato das vértebras que ele separa.

Com o passar do tempo, esses discos se degeneram devido aos esforços sofridos pela coluna e pelo próprio desgaste devido ao tempo. Com essa degeneração, surgem as doenças lombares como a lombalgia e degeneração discal.

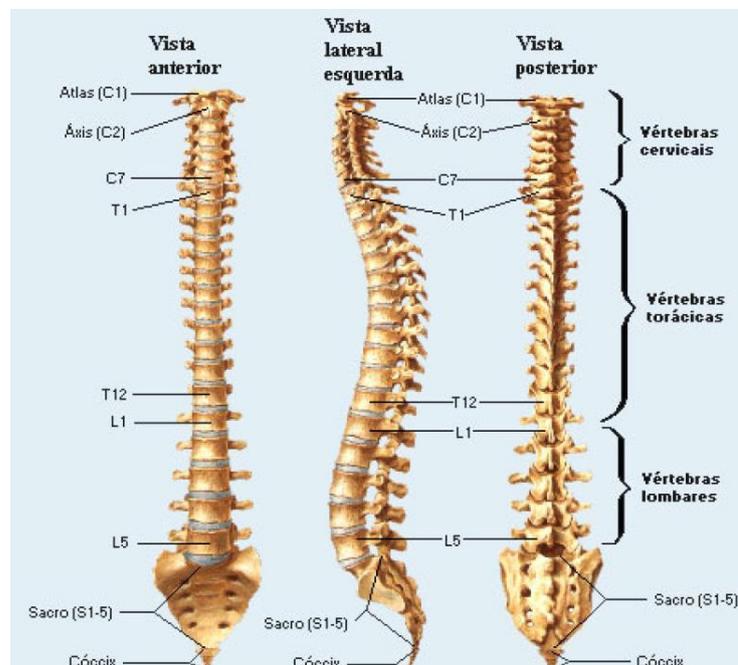


Figura 2 – Coluna vertebral humana.

Fonte: (Netter, 1999).

A principal função da coluna vertebral é sustentar o peso do corpo, mantendo a postura e tem papel fundamental na locomoção dos indivíduos. Assim, a anatomia da coluna vertebral é projetada para suportar os esforços naturais das atividades diárias das pessoas como caminhar, correr, agachar-se, etc. Qualquer esforço adicional aplicado à coluna provoca um sobre carregamento, podendo desencadear as diversas doenças na coluna. Portanto, pode-se pressupor que em atividades como dirigir por um longo período, a coluna esteja recebendo esforços adicionais ao peso da pessoa, devido às vibrações que chegam até o assento do motorista, podendo dessa forma caracterizar uma doença ocupacional.

Além dos esforços adicionais aplicados à coluna, a postura também tem um papel importante na determinação da ocorrência de problemas na coluna. Porém, neste trabalho, a postura do motorista ao sentar na poltrona para dirigir, não será um item estudado. Para um conhecimento sobre a influência da postura de motoristas sentados sobre poltronas de ônibus urbanos, Becker (2006) fez um estudo com indivíduos sentados em duas posturas diferentes.

O conhecimento sobre a resposta dinâmica do corpo humano, quando submetido a efeitos de vibração, é fundamental para se determinar possíveis relações entre atividades laborais e doenças ocupacionais (Becker, 2006).

Contudo, este trabalho não possui em seu escopo de objetivos a determinação das relações entre vibrações de corpo inteiro e doenças ocupacionais, mas sim, a identificação experimental dos níveis de aceleração que chegam até o motorista. Mesmo assim, a ligação entre os assuntos é algo inevitável e deve ser observada. Assim, para garantir as condições básicas consideradas seguras para exposição de trabalhadores a vibrações de corpo inteiro, existem as normas internacionais que regulamentam as medições e apresentam os limites máximos de exposição, sempre preocupadas com a saúde dos trabalhadores.

2.2 Alteração do anexo 8 da NR 15

Com o intuito de estabelecer critérios para a caracterização da condição de trabalho insalubre decorrente da exposição às vibrações de mãos e braços e de corpo inteiro sofridas por trabalhadores e os procedimentos técnicos necessários para a avaliação quantitativa dessas vibrações, o Ministério do Trabalho e Emprego publicou a portaria MTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014, que altera o texto do anexo 8 da NR 15.

Anteriormente a esse publicação, o conteúdo do anexo 8 da NR 15 citava, com relação às vibrações no corpo humano, que a perícia, visando à comprovação ou não da exposição, deve tomar por base os limites de tolerância definidos pela Organização Internacional para a Normalização - ISO, em suas normas ISO 2631 e ISO/DIS 5349 ou suas substitutas. Dessa forma, os procedimentos de avaliação e de caracterização dos níveis de exposição dos trabalhadores deveria seguir as indicações da ISO 2631.

Com a alteração do conteúdo, o anexo 8 da NR 15 passa a mencionar no próprio texto que valor da aceleração resultante de exposição normalizada de 1,1 m/s² e cita a Norma de Higiene Ocupacional 09 (NHO 09) como referência para avaliação da exposição.

Tendo este trabalho de dissertação iniciado anteriormente a publicação da portaria citada, as avaliações realizadas utilizaram como referência a ISO 2631-1 (1997). Mesmo assim, a utilização dessa norma não invalida o trabalho, uma vez que a ISO 2631 é internacionalmente reconhecida como norma regulamentadora para atividades que envolvam vibração de corpo inteiro.

2.3 Norma ISO 2631

A norma internacional ISO 2631 define os métodos de quantificação da vibração de corpo inteiro em relação à saúde e conforto humano. A norma classifica veículos (aéreos, terrestres e aquáticos), máquinas e equipamentos, e atividades industriais como agentes expositores de pessoas a vibrações mecânicas periódicas, aleatórias e transientes, as quais podem interferir no conforto, nas atividades ocupacionais e na saúde das pessoas (ISO 2631-1 1997).

A parte 1 da norma ISO 2631 define os métodos de medição de vibrações mecânicas periódicas, aleatórias e transientes que provocam vibrações de corpo inteiro em pessoas. Essa parte da norma é definida como ISO 2631-1. A preparação dessa norma iniciou em 1966 e foi primeiramente publicada em 1974. Trazia os valores numéricos de limite de exposição de VCI. Em 1997, essa norma foi reeditada e lançada na sua versão que até hoje é utilizada (Balbinot, 2001).

A norma ISO 2631-1 (1997) define alguns parâmetros de medição da vibração, tais como:

a) Sistema de coordenadas de medição: a vibração é medida de acordo com um sistema de coordenadas originado em um ponto em que a vibração está entrando no corpo. De acordo com a posição em que o indivíduo se encontra, os eixos são direcionados de acordo com a Figura 3;

b) Os sensores de medição devem ser posicionados o mais próximo possível da interface entre o corpo humano e a fonte de vibração;

c) O parâmetro para avaliação da magnitude da vibração é a aceleração rms (*root-mean-square*), expressa em m/s^2 ;

d) De acordo com a aplicação e a postura da pessoa, a aceleração rms deve ser compensada (ou ponderada), de acordo com a Tabela 1. Segundo a própria ISO 2631-1 (1997), a forma como a vibração afeta a saúde e o conforto das pessoas depende da frequência com que ela está sendo aplicada. O valor de compensação para cada frequência está mostrado na Tabela 2.

e) A aceleração rms ponderada é calculada de acordo com a equação 2.1;

$$a_i = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_i^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

onde a_i é a aceleração ponderada em função do tempo, em m/s^2 , e T é a duração da medição, em segundos;

f) As medições podem ser feitas, e para a metodologia adotada nesse trabalho é indicada pela norma ISO 2631-1 (1997) como a mais adequada, em um terço de oitava;

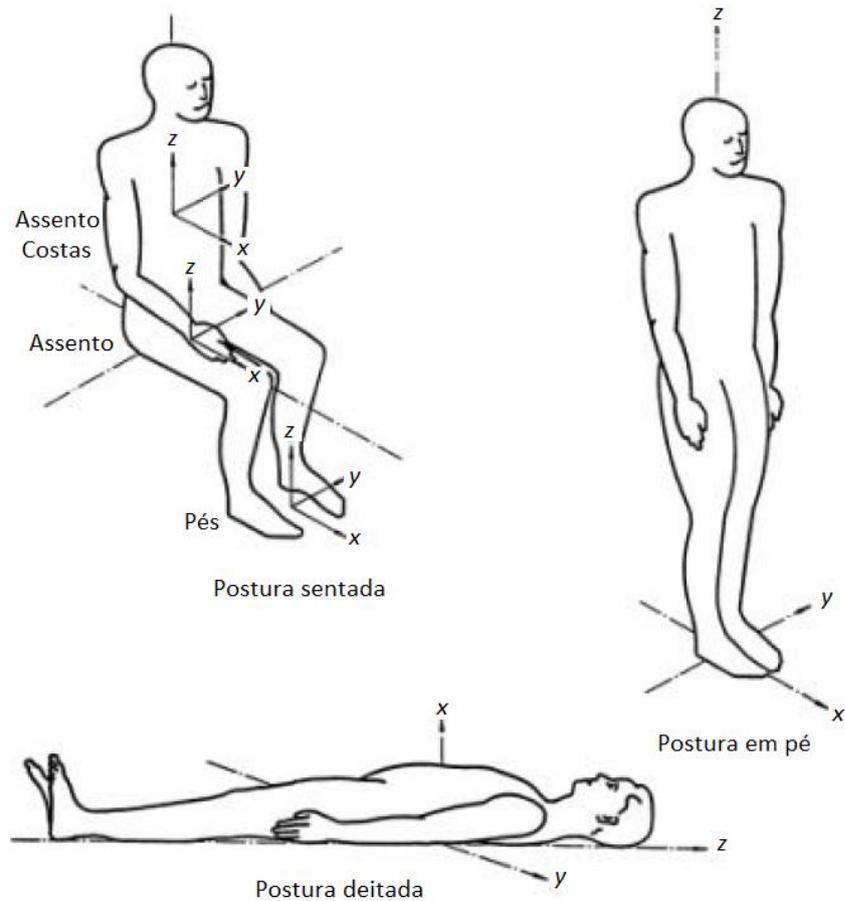


Figura 3 – Sistemas de coordenadas de medição no corpo humano.

Fonte: ISO 2631-1 (1997).

Tabela 1 – Ponderação segundo a direção da medição.

Fonte: ISO 2631-1 (1997).

<i>Fator de compensação</i>	<i>Efeito na(o)</i>					
	<i>Saúde</i>		<i>Conforto</i>		<i>Percepção (fadiga)</i>	
	<i>eixos</i>	<i>postura</i>	<i>eixos</i>	<i>postura</i>	<i>eixos</i>	<i>postura</i>
W_k	z	sentado	z	sentado	z	sentado
			z	em pé	z	em pé
W_d	x e y	sentado	x e y	sentado	x e y	sentado
			x e y	em pé	x e y	em pé

Tabela 2 – Valores de ponderação para cada faixa de frequência.
Fonte: ISO 2631-1 (1997).

<i>freqüência</i> <i>f [Hz]</i>	<i>W_k</i> <i>(x10³)</i>	<i>W_d</i> <i>(x10³)</i>	<i>freqüência</i> <i>f [Hz]</i>	<i>W_k</i> <i>(x10³)</i>	<i>W_d</i> <i>(x10³)</i>
1	482	1011	10	988	212
1,25	484	1008	12,5	902	161
1,6	494	968	16	768	125
2	531	890	20	636	100
2,5	631	776	25	513	80,0
3,15	804	642	31,5	405	63,2
4	967	512	40	314	49,4
5	1039	409	50	246	38,8
6,3	1054	323	63	186	29,5
8	1036	253	80	132	21,1

- g) A grandeza utilizada para quantificar a VCI a que o trabalhador está exposto é indicada pela aceleração ponderada. A aceleração ponderada é dada pela equação 2.2;

$$a_w = \left[\sum (W_i \cdot a_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

onde a_w é a aceleração ponderada, em m/s^2 , W_i é o fator de ponderação e a_i é a aceleração rms para as frequências em bandas de 1/3 de oitava mostradas na Tabela 2.

Com relação à saúde das pessoas, a ISO 2631-1 (1997) é aplicável para uma faixa de frequência que vai de 0,5 Hz até 80 Hz. Se durante a aplicação da norma ficar estabelecido que frequências abaixo de 1 Hz não são relevantes, a faixa de frequência considerada pode ser de 1,0 Hz a 80 Hz.

A aceleração rms ponderada pode ser determinada para cada eixo (x,y,z) independentemente. Porém, a avaliação da vibração deve ser feita para o respectivo eixo que apresente os maiores níveis de aceleração ponderada, que para o caso de pessoas sentadas em veículos, como motoristas e passageiros, ocorre no eixo z.

2.4 Outras normas relacionadas à vibração no corpo humano

A maioria dos países aceitam em suas legislações os parâmetros da ISO 2631-1 (1997) como referência para regulamentação de atividades laborais que exponham os trabalhadores à vibração localizada ou de corpo inteiro. O Brasil possui desde 1978, na Legislação do Ministério do Trabalho, a Norma Regulamentadora NR 15, anexo 8, que estabelece critérios para caracterização da condição de trabalho insalubre decorrente da exposição às Vibrações de Mãos e Braços (VMB) e Vibrações de Corpo Inteiro (VCI). Essa legislação utilizou desde a sua criação os parâmetros da ISO 2631-1 (1997) como parâmetro de classificação de atividades insalubres relacionadas à vibração. Porém, a partir de 13 de agosto de 2014, a NR 15, Anexo 8, passou a adotar os parâmetros apresentados na Norma de Higiene Ocupacional (NHO) número 09, a NHO 09 (NHO, 2013).

Outros países utilizam o padrão britânico (BS) para regulamentação das atividades com agentes expositores à vibração. A BS 6841 (1987) apresenta praticamente os mesmos parâmetros da ISO 2631-1 (1997). Foram acrescentados, às versões mais antigas da ISO 2631, técnicas e métodos diferentes para avaliação da vibração, eliminando possíveis dúvidas quanto à interpretação que existia na ISO 2631.

A Diretiva 2002/44/CE de 25/06/2002 (*European Commission*, 2002), foi publicada no jornal oficial da Comunidade Europeia em 06/07/2002, e tem por finalidade determinar os requisitos mínimos de segurança e saúde dos trabalhadores expostos à vibração de corpo inteiro ou de mãos e braços. Alguns países, principalmente da comunidade europeia, já incorporaram essa diretiva à sua legislação. Em função disso, muitas empresas fabricantes de veículos já tomam como referência em seus projetos os limites de vibração expostos nessa diretiva.

Nos Estados Unidos existe a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), que é uma organização formada por diversas entidades como universidades, empresas e centros de pesquisa, voltada para pesquisas na área de higiene e segurança do trabalho. Fundada em 1938, a ACGIH é um centro de referência para todo o mundo na área de vibração ocupacional.

Em suas publicações, a ACGIH (2005) utiliza curvas limites de exposição quanto ao conforto dos trabalhadores para um determinado tempo de atividade. Essas curvas foram

baseadas na norma ISO 2631 (1978), e até hoje são utilizadas pela ACGIH. A Figura 4 apresenta as curvas limites para o eixo z de uma pessoa.

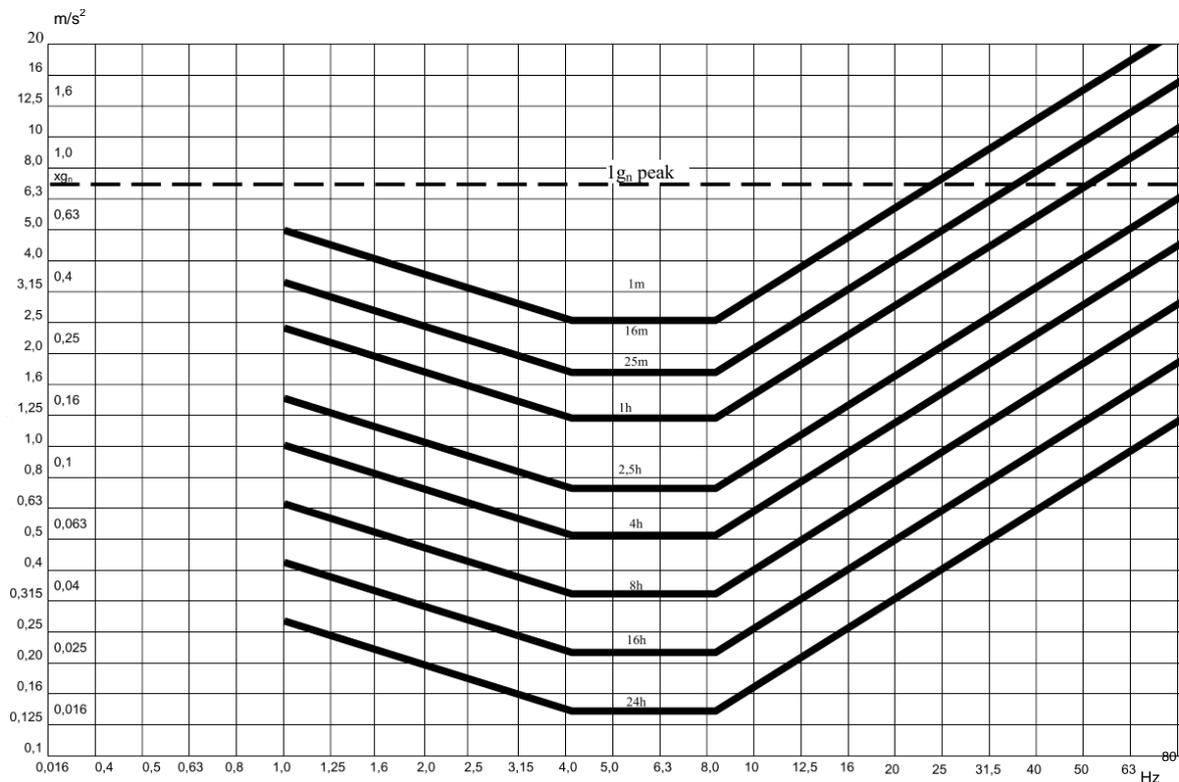


Figura 4 – Curvas de limites para conforto e saúde em relação ao eixo z do corpo humano.

Fonte: ISO 2631 (1978).

Independente da norma utilizada como referência, atividades laborais que exponham o trabalhador à VCI elevadas devem ser avaliadas segundo as normas vigentes para tais atividades. Além disso, qualquer trabalho científico na área, que tenha o intuito de quantificar os efeitos da vibração sobre o corpo humano, tem fundamental importância para o aprimoramento dessas normas e, por conseguinte, a redução de problemas de saúde de trabalhadores expostos à VCI.

2.5 Transmissibilidade - SEAT

A determinação do *Seat Effective Amplitude Transmissibility* (SEAT) não fornece diretamente informações sobre a exposição do corpo humano a vibrações. O objetivo desse

parâmetro é determinar a capacidade de um assento (ou poltrona) em atenuar as vibrações que chegam até o motorista.

A medição da transmissibilidade envolve a determinação da magnitude em dois pontos: um sobre o assento do motorista e outro diretamente no assoalho, onde a poltrona está fixada. A medição nestes dois pontos é feita simultaneamente e o fator SEAT é calculado pela razão entre as duas grandezas obtidas. Pode-se usar a aceleração ponderada (a_w) para expressar o $SEAT_{rms}$. Além disso, pode-se multiplicar o resultado por 100 para obter um valor em porcentagem. Assim, o fator $SEAT_{rms}$ e o $SEAT\%$ são expressos pelas equações 2.3 e 2.4 (Rao, 2008).

$$SEAT_{rms} = \frac{a_{w,seat}}{a_{w,floor}} \quad (2.3)$$

$$SEAT\% = SEAT_{rms} \times 100 \quad (2.4)$$

Observa-se pelas equações que o fator SEAT varia de 0 a 1, ou em termos de porcentagem, 0 a 100 %. Assim, qualquer valor menor que 1, ou menor que 100 %, indica que o assento está gerando um efeito de amortecimento na vibração que é transmitida do assoalho até o motorista. Porém, pode ocorrer casos em que o fator SEAT seja maior que 1, ou maior que 100%. Nesses casos, o fenômeno que ocorre é a amplificação do sinal, ou seja, o sinal de saída do sistema é maior que o sinal de entrada. Espera-se, assim, que para garantir o conforto do motorista, em todas as frequências medidas, o fator de transmissibilidade SEAT% seja menor que 100 % (Ver, 2006).

Minozzo (2012) realizou um estudo de transmissibilidade em uma poltrona de motorista montada em um ônibus urbano. Circulando com o ônibus por vias urbanas, Minozzo (2012) coletou dados de aceleração no assento do motorista e no assoalho, próximo à base da poltrona. Os resultados obtidos nesse trabalho indicaram que para algumas faixas de frequência a transmissibilidade ficou maior que 100 %, ou seja, houve uma amplificação da amplitude de vibração que é transmitida da base para o assento da poltrona. A Figura 5 mostra o gráfico da transmissibilidade em bandas de frequência obtido por Minozzo (2012). Nota-se que, principalmente na faixa de 1,0 a 6,5 Hz, a amplitude da aceleração sofreu uma amplificação.

O motorista sentado sobre a poltrona, juntamente com a poltrona e todo sistema que a compõe, como amortecedores, molas, espumas e estrutura, formam um sistema de vibração. Logo, a massa do motorista influencia no comportamento desse sistema e, conseqüentemente, na resposta da amplitude transmitida, modificando o valor do SEAT (Brüel&Kjaer, 2008).

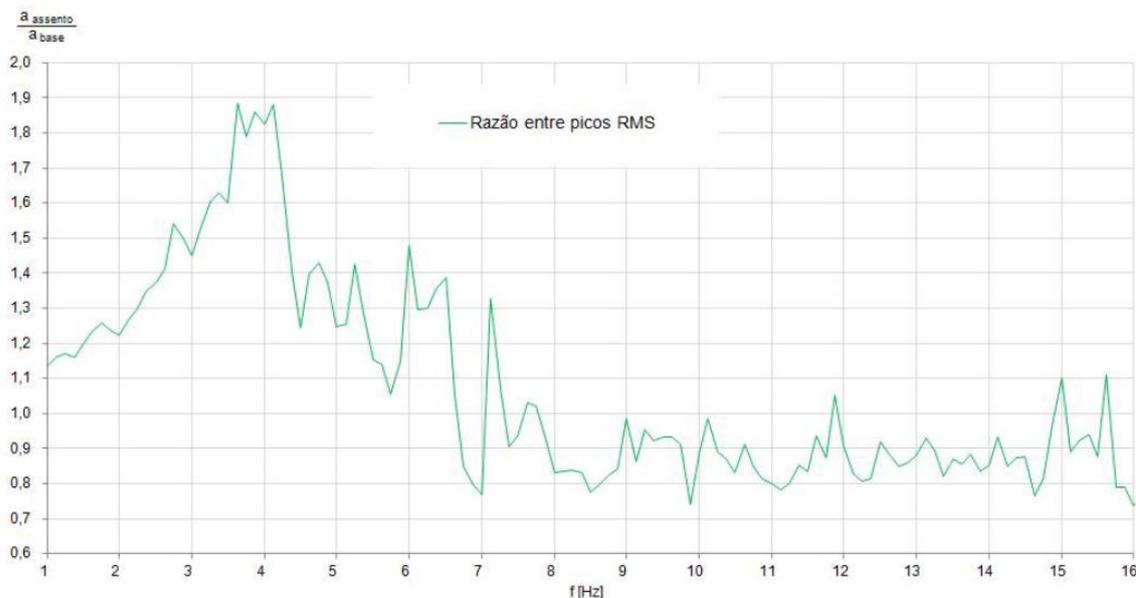


Figura 5 – Transmissibilidade entre base e assento para uma poltrona de ônibus urbano.

Fonte: Minozzo (2012).

Anflor (2003) obteve em seus estudos alguns resultados de transmissibilidade para uma poltrona de motorista de ônibus urbano. O autor utilizou um dispositivo (*shaker*) para reproduzir faixas de frequência de 2 a 20 Hz, com acelerômetros instalados na base e no assento da poltrona, a fim de identificar as frequências naturais da poltrona. Os resultados mostraram uma acentuação da transmissibilidade entre base e assento na frequência de 7 Hz, indicando que essa frequência pode ser considerada com a frequência natural do sistema.

Tanto nos resultados de Minozzo (2012) quanto nos de Anflor (2003), que estudaram o mesmo modelo de poltrona, foi observada uma amplificação da amplitude de vibração em frequências abaixo de 8 Hz. Isso indica que tal poltrona não é eficiente para as faixas de frequências citadas, que segundo Chaffin *et al.* (1999), está em uma faixa de frequência que pode ocasionar alterações nas atividades posturais e musculares.

Porém, para se obter um valor conclusivo sobre o SEAT geral da poltrona, são necessárias diversas medições com diferentes motoristas e teste de bancada. No caso de se ter

um ou dois motoristas apenas, como é o caso deste trabalho, o resultado do SEAT será específico para aquela determinada condição.

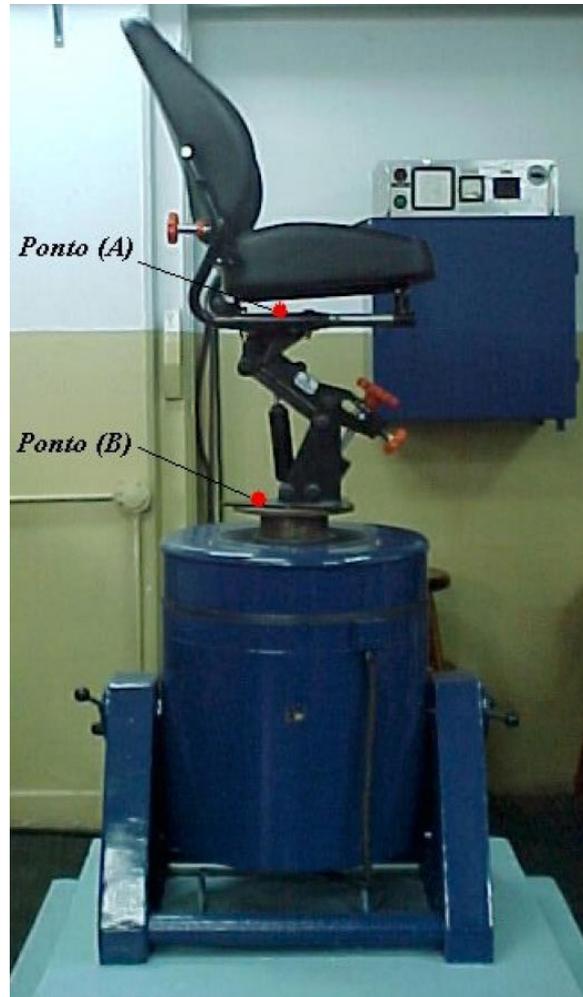


Figura 6 – Poltrona de motorista testada em dispositivo de ensaios de vibração (*shaker*).

Fonte: Anflor (2003).

2.6 Parâmetros de medição relacionados à vibração

Os parâmetros necessários para a realização da avaliação quantitativa da vibração são determinados pelas normas específicas descritas anteriormente, como ISO 2631-1 (1997), NHO 09 (NHO, 2013), BS 6841 (1987), Diretiva 2002/44/CE e ACGIH (2005), e serão detalhados nesta seção.

A magnitude da vibração pode ser expressa em termos da aceleração, velocidade ou deslocamento observado no processo de vibração. Qualquer um desses termos pode

representar o fenômeno da vibração, pois o corpo humano reage para qualquer um desses, dependendo da frequência do movimento. No entanto, as principais normas relacionadas à VCI utilizam como critério para quantificar a magnitude da vibração a aceleração, a qual é medida por transdutores chamados acelerômetros (Brüel&Kjaer, 2008).

A fim de quantificar apropriadamente a aceleração à qual o trabalhador está exposto, utiliza-se o valor da aceleração média rms (*root-mean-square*). E valor é calculado pela equação 2.5.

$$rms = \left[\frac{1}{N} \sum x_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

Onde N é o número de amostras e x_i é o valor instantâneo de cada amostra.

Quando se tem certo número de amostras, e pretende-se obter a média absoluta entre elas, utiliza-se a equação da média (eq. 2.6).

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.6)$$

O desvio padrão para um conjunto de amostras é calculado pela equação 2.7.

$$\sigma = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

2.6.1 Análise de variância - Formulação matemática para dois fatores com réplica

Quando um modelo apresenta dois fatores, onde cada combinação de fatores é observada mais de uma vez com um número igual de observações, este é denominado de ANOVA de dois fatores com réplica, onde as réplicas são as repetições das observações. O objetivo das réplicas é de testar não só o efeito dos fatores envolvidos, mas também o efeito da interação entre eles (Guimarães, 1997).

O modelo de ANOVA de dois fatores com réplica é matematicamente expresso pela equação 2.8.

$$SQT = SQA + SQB + SQI + SQE \quad (2.8)$$

Onde:

SQT = Soma total de quadrados dos desvios em relação a média;

SQA = Soma dos quadrados entre as linhas (Fator A);

SQB = Soma dos quadrados entre as colunas (Fator B);

SQI = Soma dos quadrados das interações (Interação AB);

SQE = Soma dos quadrados dos erros.

Para uma análise dois fatores A e B, as seguintes hipóteses para o problema são assumidas:

Fator A:

H_0 = não há efeito significativo do fator A;

H_1 = há efeito significativo do fator A;

Fator B:

H_0 = não há efeito significativo do fator A;

H_1 = há efeito significativo do fator A;

Efeito da interação AxB:

H_0 = não há efeito da interação entre os fatores A e B;

H_1 = há efeito da interação entre os fatores A e B.

A análise da veracidade das hipóteses é feita por meio da tabela comparativa ANOVA. Os valores calculados são organizados na tabela 3 e podem ser comparados, a fim de determinar a sua significância.

Tabela 3 – Teste ANOVA
Fonte: Autor.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	Fcal	Ftab
Efeito Linha	SQA	$r - 1$	QMA	QMA / QME	Valor obtido da distribuição de Fisher, de acordo com os graus de liberdade e do nível de significância.
Efeito Coluna	SQB	$c - 1$	QMB	QMB / QME	
Interação AxB	SQI	$(r-1)(c-1)$	QMI	QMI / QME	
Erro	SQE	$rc(m-1)$	QME		
Total	SQT	$rcm-1$			

Detalhando-se os parâmetros apresentados na tabela de teste ANOVA, tem-se as seguintes descrições:

r = número de fatores de linha;

c = número de fatores de coluna;

m = número de réplicas;

QMA = quadrado médio do efeito linha;

QMB = quadrado médio do efeito coluna;

QMI = quadrado médio do efeito da interação AB;

QME = quadrado médio do erro.

Onde:

$$SQA = cm \sum (\bar{y}_j - \bar{y})^2 \quad (2.9)$$

$$SQB = rm \sum (\bar{y}_k - \bar{y})^2 \quad (2.10)$$

$$SQI = m \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{jk} - \bar{y}_j - \bar{y}_k + \bar{y})^2 \quad (2.11)$$

$$SQE = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^c (y_{ijk} - \bar{y}_{jk})^2 \quad (2.12)$$

Para:

\bar{y}_j = média do fator A;

\bar{y}_k = média do fator B;

\bar{y}_{jk} = média dos fatores A e B;

y_{ijk} = soma total dos quadrados da amostragem;

\bar{y} = média geral da amostragem.

Por sua vez, os quadrados médios são calculados da seguinte forma:

$$MQA = \frac{SQA}{r - 1} \quad (2.13)$$

$$MQB = \frac{SQB}{c - 1} \quad (2.14)$$

$$MQI = \frac{SQI}{(r - 1)(c - 1)} \quad (2.15)$$

$$MQE = \frac{SQE}{rc(m - 1)} \quad (2.16)$$

O teste da hipótese se faz pela comparação dos valores de F calculado e F tabelado. Da distribuição de Fisher, de acordo com os graus de liberdade e o nível de significância adotado, obtém-se o valor de F_{tab} . Esse valor é utilizado como parâmetro de referência para avaliação das hipóteses. F_{tab} é comparado com o valor de F_{cal} , que por sua vez é determinado para cada fator pela equação 2.17.

$$F_{cal} = \frac{QM(...)}{QME} \quad (2.17)$$

A comparação dos resultados F_{cal} e F_{tab} determina o nível de significância de cada fator. Para:

$F_{cal} < F_{tab} = H_0$ é verdadeira, ou seja, não há efeito significativo do fator;

$F_{cal} > F_{tab} = H_1$ é verdadeira, ou seja, há efeito significativo do fator;

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos experimentais, os equipamentos, as condições e os métodos utilizados na coleta dos dados de aceleração no posto do motorista. Cada item, ou componente, utilizado na experimentação será descrito separadamente a seguir.

3.1 Veículo

Sendo o objetivo principal do trabalho a comparação entre a influência que os tipos de pistas causam na vibração de corpo inteiro dos motoristas, um único veículo foi utilizado para a realização desse trabalho. O intuito de se usar apenas um único veículo é eliminar qualquer variável decorrente da diferença entre veículos, o que inclui suspensão, desgastes, motor, configuração da carroceria, componentes internos, comportamento em geral do veículo, etc.

Foi utilizado um modelo de ônibus com as configurações mais comumente encontradas nas frotas de ônibus urbanos no Brasil. O chassi caracterizava-se pelas seguintes características principais:

- motor dianteiro;
- suspensão por feixe de molas;
- não possuía sistema de ar condicionado;
- Pneus tipo 275/80, R22,5;
- Rodas de aço;
- Quilometragem total do veículo antes do teste: 10.839,30 km;
- Ano de fabricação: 2013.

A carroceria montada sobre esse chassi era modelo urbano, produzida de acordo com as normas vigentes de fabricação de ônibus de transporte coletivo. As principais características da carroceria podem ser citadas como sendo:

- Modelo urbano;
- Comprimento total: 12,7 m;
- Peso total: 10.240 kg;
- Lotação: 36 passageiros sentados e 55 de pé;
- Ano de fabricação: 2013.

Um veículo novo, com baixa quilometragem, foi escolhido para eliminar variáveis decorrentes da degradação com o tempo de uso.

A pressão nos pneus foi calibrada em 100 psi para todos os pneus frios. Essa condição é a indicada pelo fabricante dos pneus como condição normal de uso nas aplicações desse tipo de veículo, para o modelo de pneu 275/80, R22,5, que estava sendo usado no momento das medições. A Figura 7 mostra uma imagem externa do veículo utilizado nos ensaios.

No momento das medições o veículo encontrava-se vazio, apenas com os motoristas e a equipe técnica necessária para a coleta dos dados, além dos equipamentos de medição. Dessa forma, o peso total do veículo, com pessoas e equipamentos dentro, era de 10.665 kg.



Figura 7 – Veículo utilizado para coleta de dados.

Fonte: Autor.

3.2 Poltrona do motorista

A poltrona do motorista utilizada é um modelo de larga utilização nesse modelo de veículo. A poltrona possuía um sistema de amortecimento por pistão hidráulico e uma mola com uma rigidez predefinida. Tal poltrona estava nova, com pouco tempo de uso, eliminando assim qualquer variável decorrente do desgaste.

A poltrona estava fixada na carroceria do ônibus por meio de três parafusos, sendo que os furos da poltrona são oriundos da fabricação da mesma. O sistema de amortecimento é composto pela espuma do assento, mola e amortecedor. O amortecedor fornece um curso de, no máximo, 90 mm. A mola é montada com uma pré-carga dentro da caixa do sistema de amortecimento, possui um comprimento total de 80,5 mm e um diâmetro de 9,5 mm.

O usuário tem a opção de fazer dois tipos de regulagens, uma no sentido longitudinal, para frente ou para trás, por meio de uma pequena alavanca que fica na lateral da poltrona; e outra regulagem de altura.

Como pode ser visto na Figura 8, a poltrona não apresenta apoio para a cabeça nem regulagem do encosto, sendo este último fixo.



Figura 8 – Poltrona do motorista.

Fonte: Autor.

3.3 Instrumentação

A técnica utilizada nesse trabalho para instrumentação e coleta de dados é conhecida como acelerometria. Para a coleta dos dados de aceleração é utilizado um transdutor chamado de acelerômetro. O acelerômetro triaxial, caracteriza um pré-amplificador embutido, onde a sensibilidade do instrumento é expressa em termos da tensão de aceleração por unidades $mV/m/s^2$ (milivolt por metro por segundo ao quadrado), que para esta calibração possui um nível de confiança correspondente a 95%.

Os acelerômetros utilizados na coleta de dados deste trabalho possuem uma faixa de operação que varia de 0,7 a 7000 Hz para a direção vertical. Além de serem hermeticamente fechados, possibilitam trabalhar com variações de temperatura e possuem boas características quanto às tensões de base, (Brüel&Kjaer, 2008).

Os acelerômetros utilizados nesse trabalho são mostrados na Figura 9.



Figura 9 – Acelerômetro triaxial (a) e *seat pad* (b).

Fonte: Brüel & Kjaer (2008).

O acelerômetro piezoelétrico triaxial mostrado na figura 9 (a) é capaz de medir simultaneamente acelerações que ocorrem nos três eixos. É fixado à estrutura por meio de cola estrutural.

O acelerômetro de assento, conforme a Figura 9 (b) é um tipo de acelerômetro portátil de fácil manuseio que possibilita resultados rápidos, ideal para extrair dados de vibração humana no trabalho, (Brüel&Kjaer, 2008). É fixado ao assento da poltrona por meio de fitas adesivas. Possui uma faixa de operação que varia de 0,25 a 900 Hz para medição da vibração de corpo inteiro.

A utilização de ambos acelerômetros, coletando dados da base e do assento da poltrona simultaneamente, possibilita a determinação da transmissibilidade envolvida na poltrona.

3.3.1 Equipamentos utilizados

Todos os sistemas de aquisição utilizados atendiam as indicações da norma ISO 2631-1 (1997) para a coleta de dados de vibração de corpo inteiro. Um acelerômetro triaxial Brüel & Kjaer DeltaTron Type 4524-B-001 foi instalado na base da poltrona do motorista. O

alinhamento dos eixos desse sensor seguiu a mesma indicação dos eixos de medição para o corpo humano (ver Figura 3).

Sobre o assento do motorista foi instalado um acelerômetro do tipo *seat pad* da marca Brüel&Kjaer Type 4515-B-002. Conforme indicado pela norma ISO 2631-1 (1997), o sensor responsável por medir os níveis de vibração que chegam até o corpo do motorista deve ficar posicionado na interface do corpo do motorista com o assento. O alinhamento dos eixos para esse caso seguiu o mesmo citado anteriormente para o acelerômetro triaxial.

O sistema utilizado para aquisição e pós-processamento dos dados coletados mantinha referência com os acelerômetros por ser do mesmo fabricante. Foi utilizado o equipamento Pulse 12 channel Brüel&Kjaer Type 3560 C. Este sistema de aquisição e os sensores utilizados foram devidamente calibrados, anteriormente aos ensaios, utilizando-se o calibrador Brüel&Kjaer Type 4294. Todos os equipamentos de medição estavam de acordo com a norma para medição de vibração no corpo humano ISO 8041 (2005). A Figura 10 mostra o sistema de aquisição utilizado, montado no interior do veículo.



Figura 10 – Sistema de aquisição Pulse instalado no interior do veículo.

Fonte: Autor.

A coleta dos sinais foi realizada simultaneamente nos dois pontos de fixação, com o objetivo de avaliar a transmissibilidade ocorrida na poltrona, avaliando os picos de acelerações entre a base e o assento da poltrona.

A Figura 11 representa a estrutura adotada para a aquisição dos dados.

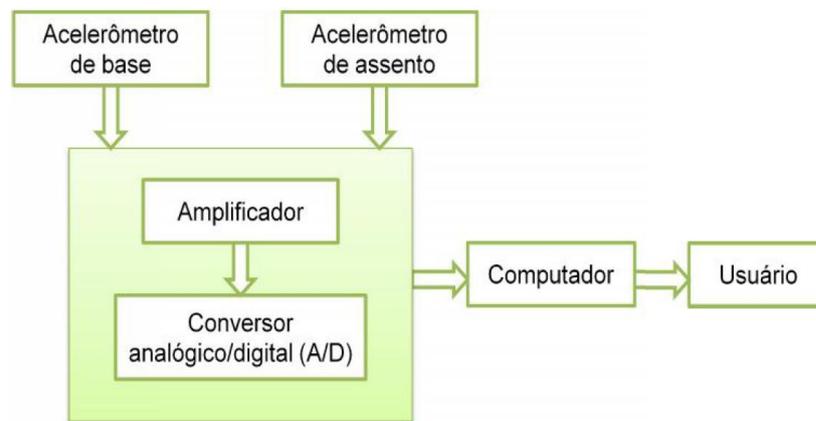


Figura 11 - Esquema da coleta e aquisição dos dados.

Fonte: Autor.

A taxa de amostragem utilizada para a coleta dos dados foi de 200 Hz, para simplificar o arquivo de resultados sem afetar a resposta final do sistema.

As Figuras 12 e 13 mostram os acelerômetros montados sobre o assento da poltrona do motorista e na base da mesma, respectivamente. O acelerômetro tipo *seat pad* foi fixado por fitas adesivas sobre o assento, e o acelerômetro triaxial foi fixado por uma cola específica na base.

As coordenadas iniciais e finais, utilizadas para determinação das distâncias e velocidades desenvolvidas, foram definidas com a utilização de um sistema GPS instalado no interior do veículo.



Figura 12 – Acelerômetro tipo *seat pad* instalado sobre o assento da poltrona do motorista.

Fonte: Autor.

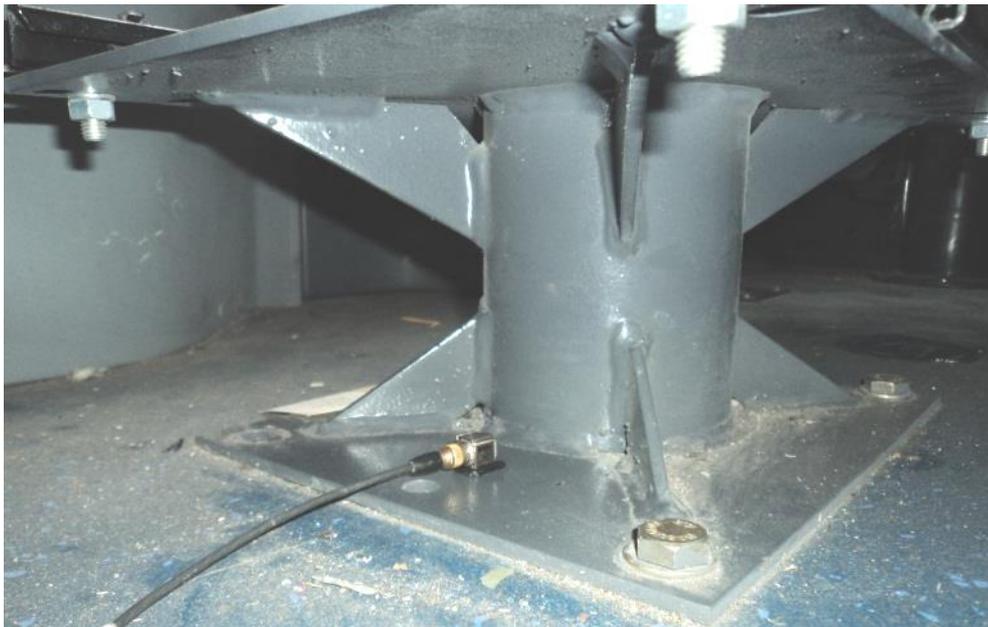


Figura 13 – Acelerômetro triaxial instalado na base da poltrona do motorista.

Fonte: Autor.

3.4 Motoristas

Dois motoristas participaram da execução dos ensaios, ambos eram homens e com características físicas diferentes. Foram utilizados dois motoristas com diferenças físicas (peso

e idade, por exemplo) e da forma de dirigir significativas. Assim, foram escolhidos dois motoristas com características bem distintas. Serão chamados neste trabalho de motorista 1 e 2, com as características pessoais de cada um indicadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Características individuais de cada motorista.

Fonte: Autor

	<i>Altura (m)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Idade (Anos)</i>	<i>Experiência (Anos)</i>
<i>Motorista 1</i>	1,74	74	30	5
<i>Motorista 2</i>	1,68	93	50	25

Observando a Tabela 4, percebe-se de maneira clara a diferença física entre os motoristas. Nesse caso, a diferença acentuada da idade e da experiência entre ambos pode ser um fator importante na maneira como um conduz o veículo em relação ao outro, podendo-se comparar de forma qualitativa como direção defensiva ou agressiva. Essa diferença acentuada entre os motoristas entra nesse trabalho como um ponto de investigação sobre como a forma de dirigir de cada motorista pode influenciar no resultado da VCI deste trabalho.

3.5 Trajetos

Para avaliar as vibrações em um veículo é necessário conhecer o pavimento em que o mesmo trafega. Gillespie (2002) afirma que os movimentos vibratórios em veículos correspondem ao intervalo de 0 a 25 Hz. As vibrações aleatórias nos veículos quando em movimento são causadas pela excitação oriunda da rugosidade do pavimento em que o veículo transita.

Segundo Wang (2002), vibrações aleatórias em um veículo são causadas pela excitação advinda da rugosidade do pavimento e têm grande influência no desempenho do veículo, principalmente na dinâmica vertical, nas cargas dinâmicas dos diversos componentes. Para o interesse desse trabalho, as afirmações de Wang (2002) indicam que sobre a vibração que chega até o posto do motorista, também ocorre influência dos perfis de pista.

Segundo Nardello (2005), três tipos de estradas predominam no cenário das cidades brasileiras. São estradas pavimentadas com paralelepípedo, com asfalto ou sem pavimento, chamadas de estradas de chão. Esses três tipos de pistas foram medidos neste trabalho. Foram

identificados trechos dentro da cidade de Caxias dos Sul, Rio Grande do Sul com esses tipos de estrada. Todos eles considerados trechos regulares, ou seja, sem grandes deformidades na sua superfície como excesso de buracos, pedras ou ondulações. Esses trechos foram identificados nesse trabalho como: asfalto, paralelepípedo e estrada de chão.

Além da medição individual de cada tipo de terreno, um quarto trecho foi medido. Esse trecho possuía ao longo do seu percurso os três tipos de pista citados anteriormente. Esse trecho será chamado neste trabalho de trecho regular. O trecho regular escolhido faz parte de uma rota convencional de ônibus urbanos na cidade de Caxias do Sul, o qual possui na sua maior parte paralelepípedo, seguido de asfalto e um trecho de estrada de chão.

Cada trecho foi medido três vezes com cada motorista. As distâncias percorridas e as velocidades desenvolvidas em cada trecho estão mostradas na Tabela 5. As velocidades adotadas para cada trecho correspondem às velocidades adequadas para transpor cada tipo de terreno, sendo velocidades usuais para cada tipo de estrada.

Tabela 5 – Velocidades e distâncias de cada trecho medido.

Fonte: Autor

	<i>Velocidades (km/h)</i>		<i>Distâncias (m)</i>	
	<i>Motorista 1 N=3</i>	<i>Motorista 2 N=3</i>	<i>Motorista 1 N=3</i>	<i>Motorista 2 N=3</i>
<i>Asfalto</i>	50	50	768,52	759,26
<i>Chão</i>	30	30	458,33	463,89
<i>Paralelepípedo</i>	30	30	452,78	461,11
<i>Trecho regular</i>	28,77	27,55	3670,00	3687,00

De forma a ilustrar cada trecho medido, as Figuras 14, 15 e 16 mostram fotos de cada um destes trechos. O trecho regular pode ser considerado como uma combinação de todos os trechos mostrados nas Figuras 14, 15 e 16.

Segundo Nardello (2005), estradas com pavimentação asfáltica são os principais tipos de pavimento encontrado nas rodovias do país e na maioria das cidades brasileiras. É um tipo de pavimento utilizado mundialmente na cobertura de superfícies de rodovias, estradas, pontes, estacionamentos, etc. A principal característica desse perfil é apresentar baixa

rugosidade superficial, alta resistência mecânica e boa relação custo benefício na sua construção.



Figura 14 - Representação do trecho de asfalto.

Fonte: Autor.

Mesmo apresentando boa resistência mecânica, com o passar do tempo, devido ao clima, qualidade do material e tráfego contínuo de veículos, a degradação deste pavimento existe, exigindo reformas na via. Muitas vezes mal feitas, as reformas deixam desníveis na pista. Quando não feitas, surgem buracos. Desníveis e buracos geram impulsos nas suspensões dos veículos, excitando uma grande quantidade de frequências na estrutura dos ônibus, tornando-se uma fonte excitadora de vibrações. Porém, nesse trabalho, o trajeto escolhido para fazer as medições apresentava-se em boas condições de trafegabilidade, não apresentava “remendos” na pista e nem buracos. Portanto, o trecho asfáltico medido foi caracterizado qualitativamente como regular.

Segundo Nardello (2005), estradas de chão batido são trechos de vias que não receberam nenhuma forma de cobertura que modificasse sua forma original de terra. Seu perfil é composto por uma rugosidade aleatória de amplitudes variáveis. É o tipo de perfil de pista mais abundante no Brasil e mais comuns de serem encontradas entre pequenas cidades, vilas e também em grande parte da região Norte do Brasil.

Quando mantidas sob cuidados constantes, esse tipo de estrada pode apresentar boas condições de trafegabilidade, porém, por estarem expostas a intempéries, facilmente essas estradas se degeneram, surgindo buracos e pedras na via.

O trecho escolhido para a medição nesse trabalho apresentava boas condições superficiais da via, devido à manutenção da estrada ter sido feita poucos dias antes das medições. Dessa forma, o trecho escolhido para medição em estrada de chão batido foi considerado como bom, para os padrões de uma estrada dessa categoria.

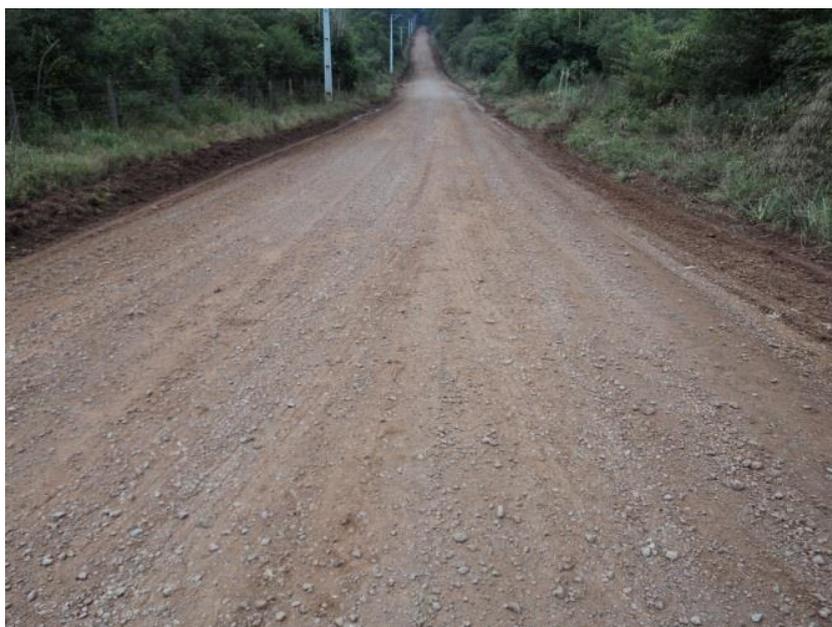


Figura 15 - Representação do trecho de chão.

Fonte: Autor.

Paralelepípedo é um tipo de pavimento tipicamente urbano, encontrado predominantemente em estradas, em regiões onde a quantidade de pedras é grande. Segundo Nardello (2005), as pedras que formam este tipo de pavimentos são irregulares de dimensões variadas e formadas manualmente. Este tipo de pavimento possui alta rugosidade devido a sua geometria irregular. Nardello (2005) aponta ainda que esse tipo de estrada gera sinais de entrada nos veículos com elevadas amplitudes. É um tipo de cobertura para pavimentação de baixo custo com vantagens limitadas.

Na cidade de Caxias do Sul, onde foram feitas todas as medições para esse teste, o pavimento de paralelepípedo é predominante, principalmente nas regiões não centrais da cidade. O trecho escolhido para a medição apresentava características dentro dos padrões da

cidade, e facilmente reproduzidas em outros pontos. Assim, o trecho escolhido para as medições em paralelepípedo foi classificado como regular.



Figura 16 – Representação do trecho de paralelepípedo.

Fonte: Autor.

Em resumo, as variáveis que foram consideradas nesse trabalho, e que foram detalhadas no capítulo 3, foram: os tipos de pistas por onde o veículo andou e os motoristas que o guiaram.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados foi dividida em quatro etapas: avaliação das acelerações no domínio da frequência, análise segundo a norma ISO 2631-1 (1997), avaliação segundo as curvas da ACGIH e análise da transmissibilidade da poltrona. Além disso, essas etapas foram repetidas em dois momentos: no primeiro para os trechos individuais (asfalto, chão e paralelepípedo) e um segundo momento para o trecho regular. Os resultados de cada análise serão apresentados nesse capítulo.

Os resultados completos de cada medição e os gráficos para cada sinal coletado são apresentados nos Apêndices 1 e 2 desse trabalho.

4.1 Análise das vibrações no domínio da frequência

O resultado de todas as medições de cada trecho estão apresentados em sua totalidade nos apêndices 1 e 2 deste trabalho. Nesta seção serão apresentados os valores médios medidos em cada terreno, a fim de se analisar os níveis de vibração que ocorrem em cada faixa de frequência.

A Tabela 6 mostra a média geral obtida para cada trecho, medida no assento da poltrona. A média incluiu as medições feitas pelos dois motoristas. Esses foram colocados em forma de gráfico e estão apresentados na Figura 17.

A Tabela 7 mostra os dados analisados na mesma forma que os dados da Tabela 6, porém com os sinais medidos na base da poltrona. Esses foram colocados em forma de gráfico e estão apresentados na Figura 18.

Observando os dados medidos no assento do motorista, percebe-se que as maiores amplitudes de aceleração se concentraram nas frequências mais baixas, para todos os tipos de terreno, sendo que visualmente pode-se perceber que o paralelepípedo apresentou os maiores níveis de aceleração em todas as faixas de frequência. Já para os dados medidos na base da poltrona, percebe-se que os níveis de aceleração ficaram mais distribuídos entre todas as faixas de frequência, tendo novamente o paralelepípedo como trecho de maiores amplitudes.

Nos dados coletados no assento, é necessário lembrar que entre a base e o assento existe um sistema amortecido, o que faz com que as amplitudes de aceleração sejam reduzidas para algumas faixas de frequência. Uma análise detalhada dessa redução de amplitudes será trabalhada mais adiante na seção 4.4.

Tabela 6 – Aceleração rms média para cada trecho, medida no assento.

Fonte: Autor.

<i>Hz</i>	<i>Aceleração rms média (m/s²)</i>		
	<i>Asfalto</i>	<i>Chão</i>	<i>Paralelepípedo</i>
1,00	0,153	0,077	0,288
1,25	0,218	0,121	0,437
1,60	0,386	0,343	0,974
2,00	0,425	0,617	0,924
2,50	0,505	0,568	0,647
3,15	0,258	0,331	0,433
4,00	0,105	0,157	0,273
5,00	0,098	0,143	0,184
6,30	0,163	0,201	0,215
8,00	0,169	0,237	0,280
10,00	0,112	0,193	0,258
12,50	0,138	0,226	0,275
16,00	0,132	0,234	0,254
20,00	0,092	0,176	0,183
25,00	0,067	0,124	0,144
31,50	0,044	0,111	0,119
40,00	0,052	0,080	0,066
50,00	0,029	0,057	0,052
63,00	0,012	0,043	0,039
80,00	0,025	0,039	0,031

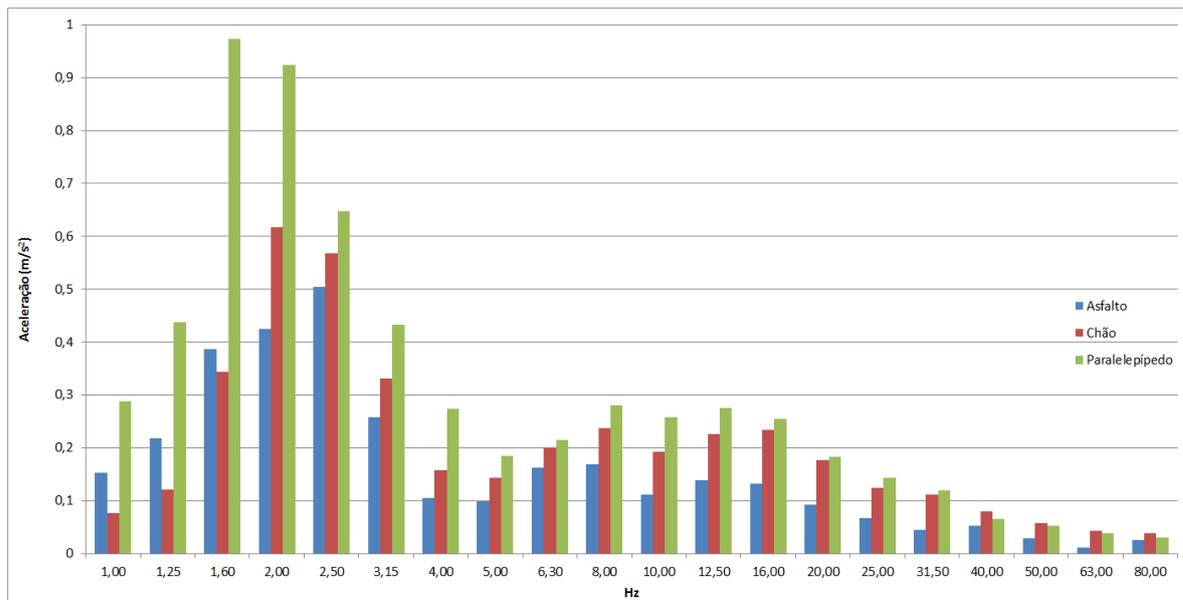


Figura 17 - Aceleração rms média em cada trecho, sem ponderação, medida no assento

Fonte: Autor

Tabela 7 – Aceleração rms média para cada trecho, medida na base da poltrona.

Fonte: Autor.

<i>Hz</i>	<i>Aceleração rms média (m/s²)</i>		
	<i>Asfalto</i>	<i>Chão</i>	<i>Paralelepípedo</i>
1,00	0,115	0,059	0,234
1,25	0,145	0,082	0,303
1,60	0,214	0,185	0,549
2,00	0,194	0,271	0,429
2,50	0,266	0,302	0,344
3,15	0,202	0,261	0,289
4,00	0,139	0,220	0,293
5,00	0,102	0,199	0,218
6,30	0,064	0,165	0,216
8,00	0,152	0,375	0,404
10,00	0,170	0,605	0,627
12,50	0,273	0,655	0,731
16,00	0,216	0,489	0,544
20,00	0,137	0,359	0,460
25,00	0,128	0,402	0,534
31,50	0,137	0,426	0,530
40,00	0,459	0,453	0,432
50,00	0,214	0,434	0,506
63,00	0,147	0,500	0,588
80,00	0,317	0,414	0,373

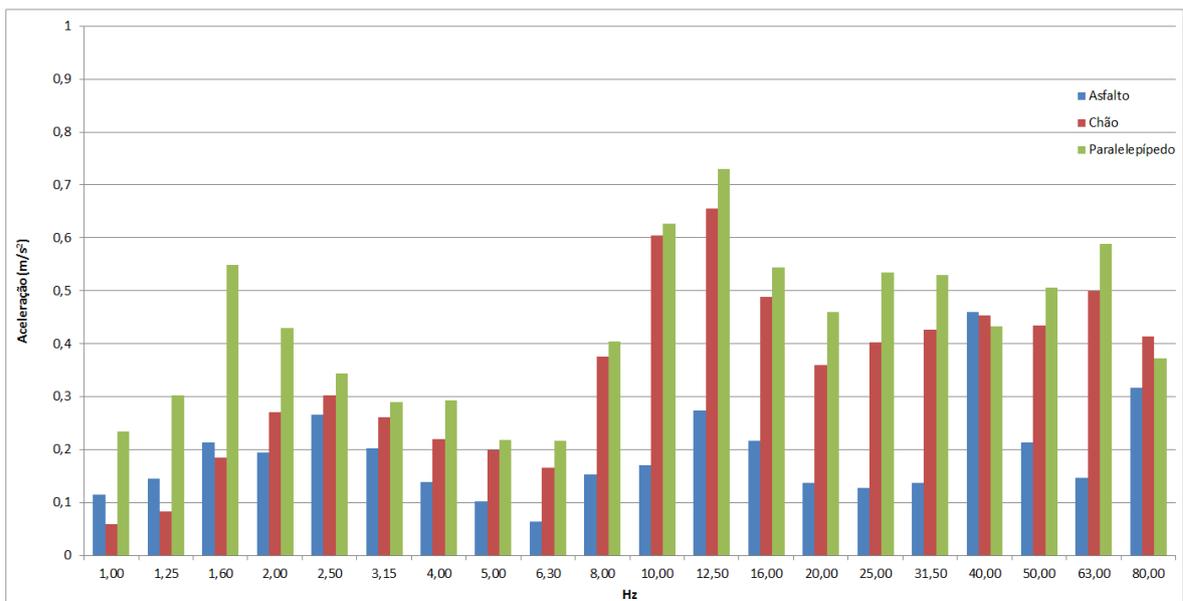


Figura 18 - Aceleração rms média, sem ponderação, medida na base da poltrona.

Fonte: Autor

Para as medições feitas na base, as acelerações observadas chegam até esse ponto através da estrutura do ônibus. As acelerações geradas pela pista são aleatórias, entram na estrutura do ônibus através do sistema de amortecimento (pneus, rodas, amortecedores, feixe de molas e cubo de rodas), e são transmitidas para a estrutura do veículo que está soldada no chassi. Sinais do tipo aleatório excitam as estruturas em todas as frequências, e são observados em veículos trafegando sobre superfícies irregulares, como é o caso das pistas medidas nesse trabalho. Além disso, fatores como velocidade do veículo e massa total também influenciam nas amplitudes de resposta de aceleração (Harris, 2002).

Ciapparini (2012) coletou, em seu estudo de fadiga nas carrocerias de ônibus, dados de aceleração nos cubos de roda de um ônibus rodoviário. Sobre os perfis de pista, o autor verificou que tanto para asfalto, paralelepípedo e estrada de chão, as rodas dianteiras obtiveram maiores acelerações em relação às rodas traseiras, esse fenômeno segundo Ciapparini (2012) é devido ao centro de gravidade do veículo ficar posicionado do centro para trás. Nos resultados obtidos, o autor verificou também que o perfil que mais solicita a estrutura é o perfil de estrada de chão, devido aos altos valores de aceleração em relação a asfalto e paralelepípedo. O perfil de paralelepípedo, mesmo com acelerações mais baixas em relação à estrada de chão, é um perfil que transmite muita vibração em várias frequências. O autor concluiu que os valores das frequências de excitação do sistema (pista – ônibus) ficaram com suas maiores amplitudes de aceleração na faixa de 5 a 20 Hz.

O que difere os resultados obtidos por Ciapparini (2012) dos dados apresentados nesse relatório, principalmente, é o fato de o modelo de ônibus ser diferente, e também, como a pista de estrada de chão é um tipo de pista que é muito suscetível a intempéries, dificilmente se obterá os mesmos níveis de aceleração em medições diferentes. Mesmo assim, as frequências principais são as mesmas, entre 5 e 20 Hz.

Além desses fatores, é importante salientar que o posto do motorista, região onde o motorista está posicionado para operar o veículo, fica muito próximo do motor. No caso do ônibus utilizado para este trabalho, a base de fixação da poltrona do motorista ficava poucos centímetros distantes da região do motor. A faixa de operação desse tipo de motor vai de 800 RPM até 3000 RPM, o que produz frequências na faixa de 13 Hz à 50 Hz. Portanto, além dos sinais de aceleração provenientes da pista, durante as medições ocorrem também acelerações provenientes do motor do ônibus.

As acelerações que chegam até a base da poltrona, independente do tipo de terreno, são resultado da combinação dos sinais de aceleração provenientes da pista e do motor, e são transferidos até a base da poltrona através da estrutura do ônibus. Dessa forma, observaram-se níveis de aceleração mais acentuados em todas as faixas de frequências medidas. Em concordância com outros trabalhos realizados na área, os sinais de aceleração oriundos da pista se concentram nas frequências entre 1,0 e 20 Hz. As acelerações provenientes do motor se encontram em faixas de 13 a 50 Hz, calculadas a partir da variação da rotação do motor. Dessa forma, uma varredura em frequências de 1,0 a 80 Hz, como foi o caso desse trabalho, mostra níveis de aceleração igualmente distribuídos em todas as faixas de frequências.

As acelerações rms medidas no assento da poltrona se concentraram com os maiores níveis em faixas de 1,0 a 4,0 Hz para todas as medições feitas, indiferentemente do tipo de terreno. Para as frequências acima dessas, as amplitudes de aceleração medidas ficaram reduzidas. Considerando que o sistema de vibração poltrona e motorista possui um amortecimento, conclui-se que as frequências mais elevadas estão sendo atenuadas por esse sistema, além de que essas frequências estão acima das frequências naturais do sistema, o que reduz sua transmissibilidade.

4.2 Avaliação das acelerações ponderadas e comparação entre os trechos

Segundo a norma ISO 2631-1 (1997), o parâmetro utilizado para quantificar a vibração que chega ao motorista é a aceleração ponderada a_w . Os dados de aceleração medidos no assento do motorista foram analisados no domínio da frequência, em faixas de 1/3 de oitava. A amplitude de aceleração utilizada para as análises corresponde à aceleração rms do sinal. A aceleração rms obtida para cada banda de frequência foi multiplicada pelo valor de ponderação (W_i) correspondente, conforme determina a norma ISO 2631-1 (1997). Dessa forma, foi calculada a aceleração ponderada resultante a_w de cada trecho. O valor obtido foi utilizado para comparação entre os trechos, determinando assim qual apresenta maior agressividade ao motorista.

Como mencionado no capítulo 3, na metodologia de ensaio, foram feitas três medições ($N=3$) para cada tipo de pista, com cada motorista, totalizando 18 medições para os trechos individuais e mais 2 testes para o trecho regular. As Tabelas 8 e 9 mostram os dados medidos para cada banda de frequência, com as acelerações ponderadas de acordo com a ISO 2631-1

(1997), separados para o motorista 1 e motorista 2, respectivamente. Foram considerados apenas os dados medidos no eixo z , no acelerômetro *seat pad* posicionado no assento do motorista.

Os dados apresentados nas Tabelas 8 e 9 são o resultado da ponderação do sinal de aceleração rms, medidos em bandas de 1/3 de oitava, calculados pela equação 2.2. Estes dados foram trabalhados da seguinte maneira: para cada trecho medido, foi feita uma média aritmética entre os três resultados de cada motorista, cujo resultado é apresentado nas tabelas citadas na coluna \bar{x} . Com esse valor médio, foi calculada a aceleração ponderada resultante de cada trecho segundo a equação 2.2.

Com os dados da coluna da média entre as medições foi gerado um gráfico que mostra os resultados médios para cada tipo de terreno, analisando individualmente cada motorista. Na Figura 19 observa-se os valores médios de aceleração rms ponderada (a_w) medida no assento do motorista 1. Percebe-se claramente que o perfil de pista que apresentou os maiores níveis de aceleração foi o tipo paralelepípedo. O asfalto se mostrou os menores níveis de aceleração. Observa-se uma concentração das maiores amplitudes em faixas de frequências mais reduzidas (inferiores a 20 Hz). Portanto, como concluído por Ciapparini (2012) em suas medições, as maiores amplitudes de aceleração que podem ser observadas em um ônibus ocorrem em frequências inferiores a 20 Hz, o que para esse trabalho, indica que o fator que mais influencia na vibração sofrida pelo motorista é o tipo de pista. Isso elimina a possibilidade de o motor ser responsável por VCI que interfiram na saúde ocupacional do motorista.

Na Figura 20 são apresentados os resultados da aceleração rms ponderada (a_w) medidas no assento do motorista 2. Percebe-se claramente a semelhança dos resultados entre o motorista 1 e motorista 2. O mesmo comportamento é observado, quando as maiores acelerações ocorrem em frequências inferiores a 20 Hz. A comparação entre os perfis de pista também se mostra semelhante entre os motoristas, sendo o paralelepípedo o tipo de pista que produz os maiores níveis de aceleração que chegam até o motorista. Da mesma forma, o tipo de pista que apresenta os menores níveis de aceleração sobre o motorista é o asfalto, apresentando os menores níveis de aceleração.

Tabela 8 – Aceleração rms ponderada (a_w), em cada medição, para o motorista 1.

Fonte: Autor.

<i>Aceleração rms ponderada - Motorista 1</i>												
<i>Hz</i>	<i>Asfalto</i>				<i>Chão</i>				<i>Paralelepípedo</i>			
	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	\bar{x}	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	\bar{x}	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	\bar{x}
1,00	0,097	0,089	0,054	0,080	0,046	0,032	0,035	0,037	0,150	0,146	0,144	0,147
1,25	0,128	0,102	0,077	0,102	0,078	0,042	0,056	0,059	0,196	0,196	0,220	0,204
1,60	0,235	0,172	0,160	0,189	0,194	0,155	0,165	0,171	0,479	0,501	0,506	0,495
2,00	0,213	0,199	0,231	0,214	0,369	0,334	0,310	0,338	0,477	0,461	0,489	0,476
2,50	0,442	0,268	0,284	0,331	0,334	0,397	0,323	0,351	0,423	0,347	0,392	0,387
3,15	0,279	0,167	0,211	0,219	0,287	0,253	0,252	0,264	0,366	0,330	0,325	0,340
4,00	0,106	0,111	0,092	0,103	0,167	0,126	0,168	0,154	0,216	0,227	0,242	0,228
5,00	0,115	0,104	0,101	0,107	0,177	0,142	0,175	0,165	0,177	0,182	0,194	0,184
6,30	0,211	0,172	0,200	0,194	0,275	0,254	0,252	0,260	0,254	0,254	0,269	0,259
8,00	0,246	0,180	0,191	0,206	0,277	0,308	0,268	0,284	0,318	0,310	0,324	0,318
10,00	0,141	0,112	0,116	0,123	0,239	0,208	0,238	0,228	0,250	0,276	0,280	0,268
12,50	0,133	0,117	0,147	0,132	0,247	0,216	0,213	0,225	0,261	0,270	0,282	0,271
16,00	0,097	0,091	0,106	0,098	0,189	0,164	0,178	0,177	0,194	0,209	0,195	0,200
20,00	0,059	0,050	0,061	0,057	0,118	0,097	0,108	0,108	0,116	0,127	0,127	0,123
25,00	0,036	0,035	0,038	0,036	0,065	0,059	0,060	0,061	0,077	0,079	0,079	0,078
31,50	0,018	0,017	0,021	0,019	0,046	0,036	0,040	0,041	0,050	0,052	0,051	0,051
40,00	0,013	0,020	0,017	0,017	0,025	0,020	0,022	0,022	0,022	0,023	0,021	0,022
50,00	0,006	0,009	0,008	0,008	0,014	0,012	0,014	0,013	0,014	0,016	0,015	0,015
63,00	0,002	0,002	0,003	0,002	0,008	0,007	0,008	0,008	0,007	0,008	0,008	0,008
80,00	0,003	0,003	0,004	0,003	0,007	0,004	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005

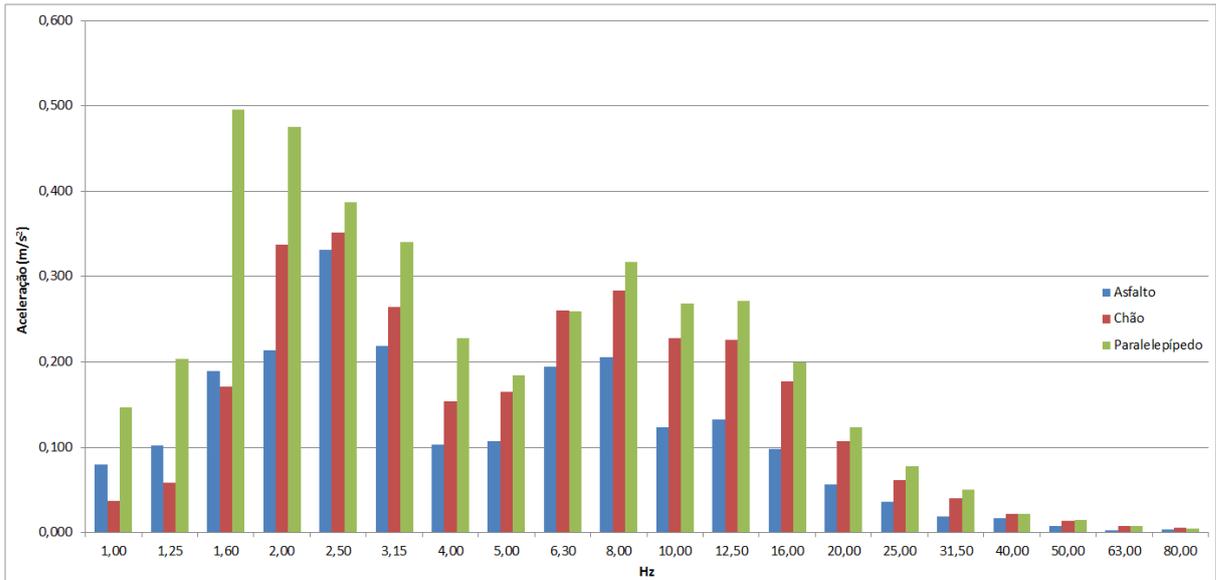


Figura 19 – Aceleração rms ponderada (a_w) no assento do motorista 1.

Fonte: Autor.

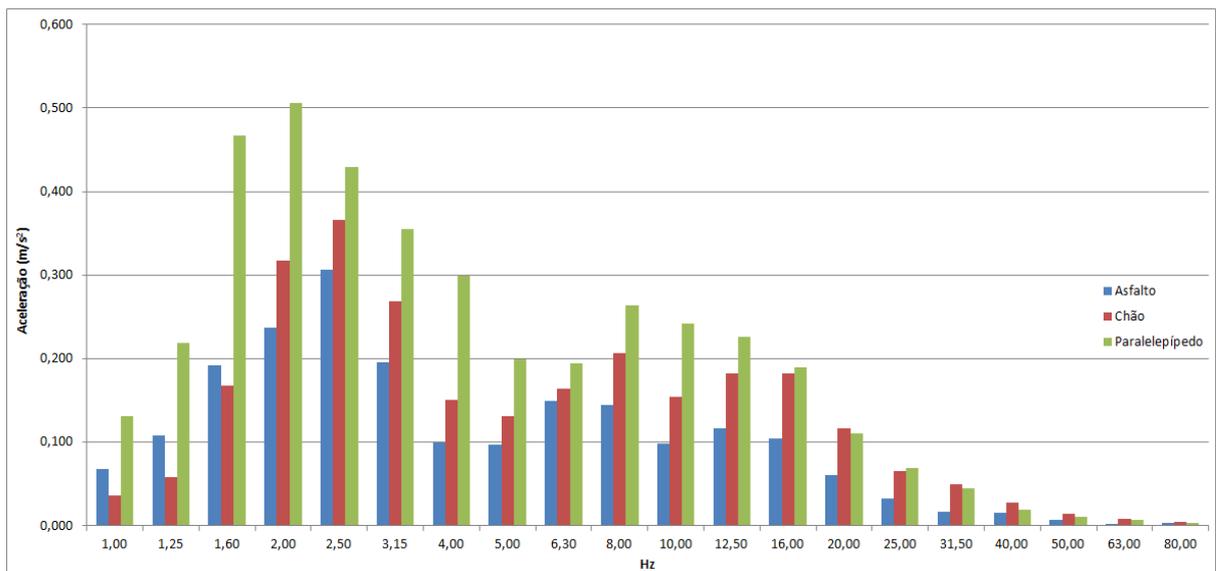


Figura 20 - Aceleração rms ponderada (a_w) no assento do motorista 2.

Fonte: Autor.

Tabela 9 – Aceleração rms ponderada (a_w), em cada medição, para o motorista 2.

Fonte: Autor

<i>Aceleração rms ponderada - Motorista 2</i>												
<i>Hz</i>	<i>Asfalto</i>				<i>Chão</i>				<i>Paralelepípedo</i>			
	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	\bar{x}	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	\bar{x}	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	\bar{x}
1,00	0,087	0,050	0,068	0,068	0,039	0,045	0,026	0,037	0,144	0,118	0,131	0,131
1,25	0,107	0,090	0,129	0,108	0,055	0,071	0,049	0,058	0,202	0,255	0,200	0,219
1,60	0,195	0,205	0,177	0,192	0,156	0,194	0,152	0,167	0,469	0,503	0,431	0,467
2,00	0,238	0,245	0,228	0,237	0,318	0,317	0,316	0,317	0,513	0,465	0,540	0,506
2,50	0,250	0,337	0,333	0,306	0,331	0,432	0,333	0,366	0,396	0,478	0,415	0,430
3,15	0,187	0,213	0,189	0,196	0,239	0,282	0,284	0,268	0,355	0,364	0,346	0,355
4,00	0,095	0,092	0,112	0,100	0,135	0,167	0,149	0,150	0,302	0,295	0,300	0,299
5,00	0,093	0,102	0,098	0,097	0,132	0,143	0,120	0,132	0,197	0,220	0,180	0,199
6,30	0,133	0,158	0,157	0,149	0,150	0,183	0,157	0,163	0,195	0,197	0,193	0,195
8,00	0,129	0,150	0,155	0,145	0,187	0,237	0,194	0,206	0,285	0,256	0,250	0,263
10,00	0,093	0,090	0,114	0,099	0,139	0,199	0,123	0,154	0,247	0,238	0,242	0,242
12,50	0,105	0,115	0,130	0,117	0,172	0,228	0,148	0,183	0,229	0,214	0,235	0,226
16,00	0,094	0,105	0,114	0,104	0,183	0,214	0,151	0,183	0,197	0,179	0,194	0,190
20,00	0,055	0,057	0,070	0,060	0,113	0,140	0,097	0,116	0,116	0,104	0,110	0,110
25,00	0,034	0,029	0,035	0,033	0,072	0,070	0,055	0,066	0,079	0,067	0,063	0,070
31,50	0,015	0,016	0,020	0,017	0,057	0,053	0,037	0,049	0,051	0,042	0,043	0,045
40,00	0,014	0,014	0,019	0,016	0,030	0,032	0,021	0,028	0,022	0,017	0,018	0,019
50,00	0,006	0,006	0,007	0,006	0,017	0,016	0,010	0,015	0,012	0,009	0,010	0,010
63,00	0,002	0,002	0,002	0,002	0,010	0,009	0,006	0,008	0,007	0,006	0,008	0,007
80,00	0,003	0,004	0,003	0,003	0,005	0,005	0,004	0,005	0,004	0,003	0,004	0,004

Segundo a ISO 2631-1 (1997), o valor utilizado para determinar as VCIs à que os trabalhadores estão expostos é a aceleração ponderada, que é calculada pela equação 2.2. Esse valor quantifica o nível de exposição à que o motorista está exposto durante a operação do veículo. Com um valor resultante para cada trecho, pode-se comparar o nível de exposição que cada tipo de terreno impõe sobre o motorista. Dessa forma, a aceleração ponderada resultante foi calculada separadamente para cada trecho, em cada medição e para cada

motorista. Os resultados geraram uma tabela com os valores individuais de cada sinal medido. Esses resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Aceleração ponderada resultante (a_w) para cada trecho.

Fonte: Autor.

	<i>Motorista 1</i>				<i>Motorista 2</i>			
	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	\bar{x}	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	\bar{x}
<i>Asfalto</i>	0,762	0,558	0,600	0,640	0,544	0,612	0,609	0,588
<i>Chão</i>	0,873	0,829	0,801	0,834	0,703	0,846	0,701	0,750
<i>Paralelepípedo</i>	1,125	1,103	1,149	1,126	1,119	1,140	1,103	1,121

Na Tabela 10, na coluna \bar{x} , são mostrados os resultados médios entre as três medições feitas por cada motorista. Esses valores foram retirados dessa tabela e utilizados para a construção da Tabela 11, a qual mostra os resultados médios de cada motorista, além do resultado médio entre eles.

Tabela 11 - Média da aceleração ponderada resultante (a_w) entre motoristas.

Fonte: Autor.

	<i>Motorista 1</i>	<i>Motorista 2</i>	<i>Média</i>
<i>Asfalto</i>	0,64	0,59	0,61
<i>Chão</i>	0,83	0,75	0,79
<i>Paralelepípedo</i>	1,13	1,12	1,12

A média entre os valores medidos para cada motorista, mostrados na Tabela 11, serve de comparação entre o resultado de cada trecho. Assim, observando o resultado de cada trecho, percebe-se que o tipo de terreno que provoca o menor nível de VCI nos motoristas é o asfalto. Já, o trecho que apresenta os maiores níveis de VCI é o paralelepípedo.

Outra observação importante que se pode fazer pela observação da Tabela 11 é que, mesmo pequena, existe uma diferença entre os motoristas, e que em todos os tipos de terreno, o motorista 2 apresentou menores níveis de aceleração. Uma análise mais detalhada sobre a influência de cada motorista nos resultados será feita mais adiante, na Seção 4.2.1.

Os dados da Tabela 10 estão apresentados graficamente na Figura 21. No gráfico, estão mostrados os valores de aceleração ponderada resultante (a_w) para cada trecho, divididos entre os dois motoristas. Também é mostrada a média aritmética entre os valores para cada trecho.

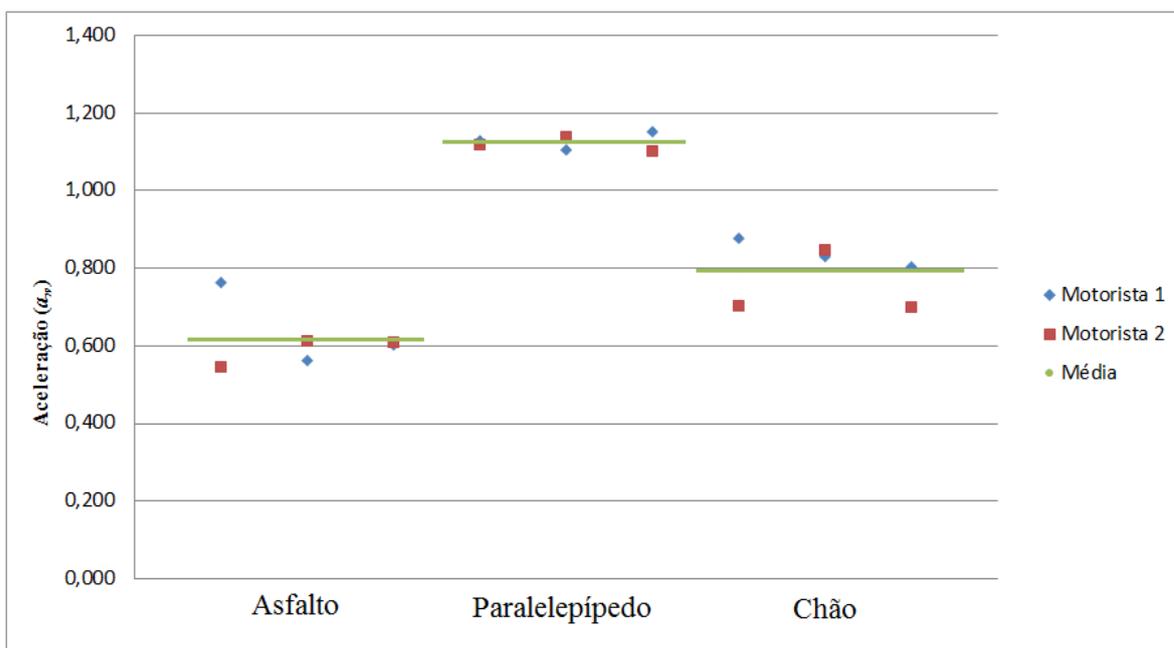


Figura 21 – Resultado da aceleração ponderada resultante, a_w , para cada terreno.

Fonte: Autor.

O cálculo das acelerações rms ponderadas resultantes para os três tipos de terrenos mostrou que o asfalto apresenta os menores níveis de aceleração sobre a vibração de corpo inteiro sentida pelo motorista, enquanto o paralelepípedo apresenta os maiores níveis de amplitude de aceleração. Além disso, analisando-se os resultados das acelerações rms ponderadas em cada banda de frequência, verificou-se que as frequências inferiores a 20 Hz são as que apresentam as maiores amplitudes de aceleração medidas na vibração de corpo inteiro no motorista

4.2.1 Análise de variância dos resultados

Além do estudo da influência de cada tipo de terreno no resultado final da vibração de corpo inteiro sofrida pelos motoristas, um dos objetivos traçados no início do trabalho era a determinação da influência do motorista nos resultados finais de vibração de corpo inteiro.

Uma vez tendo dois motoristas como elementos de comparação, sendo que cada um percorreu três trajetos diferentes (asfalto, paralelepípedo e chão), três vezes cada, uma ferramenta de análise se faz necessária para determinar a influência que cada motorista teve no resultado final.

Para isso, utilizou-se o método da análise de variância (ANOVA) pra determinar a influência de cada motorista no resultado final. Os parâmetros utilizados para essa análise estão mostrados na Tabela 12. O nível de significância assumido foi de 0,05, garantindo que o erro da análise não seja maior que 5%.

Tabela 12 – Parâmetros de análise utilizados
Fonte: Autor.

Nível de Significância	0,05
Número de Fatores Linha	2
Número de Fatores Coluna	3
Número de Réplicas	3
Número Total de Elementos	18

As hipóteses consideradas para essa análise levaram em consideração a possibilidade de influência dos motoristas e dos tipos de pistas nos resultados, sendo denominados de Fator A e Fator B. Dessa forma:

- a) Fator A: Motorista;
 - a. H_0 = A média dos resultados dos motoristas são iguais;
 - b. H_1 = Existe diferença entre as médias dos motoristas.
- b) Fator B: Pistas;
 - a. H_0 = A média para cada pista é igual;
 - b. H_1 = Existe diferença entre as médias para cada pista.
- c) Efeito da interação;
 - a. H_0 = Não há interação;
 - b. H_1 = Há efeito de interação.

A Tabela 13 apresenta os resultados de cada medição para cada tipo de estrada, sendo essa tabela a população total dos dados a serem analisados pela análise de variância. Os dados foram separados em Motorista 1 e 2, e cada bateria de testes foi denominada Teste 1, 2 e 3.

Tabela 13 – Amostragem total dos dados.

Fonte: Autor.

	<i>Motorista 1</i>			<i>Motorista 2</i>		
	<i>Teste 1</i>	<i>Teste 2</i>	<i>Teste 3</i>	<i>Teste 1</i>	<i>Teste 2</i>	<i>Teste 3</i>
<i>Asfalto</i>	0,762	0,558	0,600	0,544	0,612	0,609
<i>Chão</i>	0,873	0,829	0,801	0,703	0,846	0,701
<i>Paralelepípedo</i>	1,125	1,103	1,149	1,119	1,140	1,103

Para essa análise, foram definidos dois fatores influentes no resultados: o fator A e o fator B, e os tratamentos individuais de cada fator mostrados nas tabelas 14 e 15, com a soma das colunas e das linhas, respectivamente.

Tabela 14 – Somatório dos valores do fator A (motorista).

Fonte: Autor.

<i>Fator</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>A (Motorista)</i>	7,800	7,377

Tabela 15 – Somatório dos valores do fator B (pista).

Fonte: Autor.

<i>Fator</i>	<i>Asfalto</i>	<i>Chão</i>	<i>Paralelepípedo</i>
<i>B (Pista)</i>	3,685	4,753	6,739

Seguindo a metodologia apresentada na seção 2.5.2, para a análise de variância dos resultados, os parâmetros apresentados na tabela 3 são aqui substituídos pelos valores absolutos medidos e calculados.

A análise da interação entre os fatores A e B, com o somatório das réplicas de cada fator, é mostrada na tabela 16.

Tabela 16 – Somatório das réplicas de cada fator.

Fonte: Autor.

<i>AB</i>	<i>Asfalto</i>	<i>Chão</i>	<i>Paralelepípedo</i>
<i>Motorista 1</i>	1,920	2,503	3,377
<i>Motorista 2</i>	1,765	2,250	3,362

Com base nos valores medidos e apresentados na Tabela 13, a análise ANOVA resultou nos dados mostrados na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados do teste ANOVA.

Fonte: Autor.

ANOVA						
<i>Fonte</i>	<i>SQ</i>	<i>GDL</i>	<i>MQ</i>	<i>Fcal</i>	<i>Ftab</i>	<i>Sifnificância</i>
<i>A</i>	0,0099	1	0,0099	2,6885	4,7472	Não
<i>B</i>	0,8007	2	0,4003	108,2726	3,8853	SIM
<i>AB</i>	0,0048	2	0,0024	0,6450	3,8853	Não
<i>Erro</i>	0,0444	12	0,0037			
<i>Total</i>	0,8597	17				

Com base nos dados obtidos na Tabela 13, pela interpretação dada à análise de variância tendo as hipóteses apresentadas anteriormente como referência, pode-se fazer as seguintes observações sobre os resultados:

- Não existe efeito do Fator A (motorista), pois a hipótese H_0 é verdadeira. Isto é, $2,6885 < 4,7472$, deste modo H_0 é verdadeiro. Ou seja, a influência dos motoristas no resultado não é significativa;
- Há efeito do Fator B (pista), pois a hipótese H_1 é verdadeira. Isto é, $108,2726 > 3,8853$, deste modo H_1 é verdadeiro. Ou seja, a variação dos perfis de pista é o

parâmetro mais significativo e que mais contribui para a variação do resultado final;

- c) Não existe efeito da interação AB (motorista-pista), pois a hipótese H_0 é verdadeira. Isto é, $0,6450 < 3.8853$, deste modo H_0 é verdadeiro. Logo, a combinação de motorista e tipo de pista não é um fator que influencia no resultado final das medições.

A análise de variância (ANOVA) mostrou que os motoristas não apresentam influência significativas sobre o resultado final da vibração medida neste trabalho. Já os tipos de pista são os fatores que mais influenciam no resultado. Porém, não se pode afirmar que os motoristas não serão um fator influente em outras condições de testes, uma vez que foram utilizados apenas dois motoristas, trafegando em condições controladas.

4.2.2 Avaliação entre os trechos considerando a média entre os motoristas

Tendo concluído pela análise ANOVA que os motoristas não são considerados como um fator influente no resultado final, pode-se assumir uma abordagem de análise dos resultados considerando-se a média entre os motoristas. Dessa forma, pode-se considerar o resultado da média entre os motoristas apresentado na Tabela 11 como sendo representativa do resultado final, uma vez que os motoristas não interferem no resultado final.

Dessa forma, é coerente analisarem-se os resultados na forma de média final entre todas as medições, incluindo os dois motoristas. Esses dados são mostrados na Tabela 18.

Com os dados da Tabela 18 foi gerado um gráfico onde são apresentados os resultados para cada banda de frequência, separados entre os tipos de terreno. Nota-se que o comportamento dos níveis de aceleração se mostrou semelhante à análise feita individualmente para cada motorista.

Mais uma vez nota-se a concentração das maiores amplitudes de aceleração nas faixas de frequências inferiores a 20 Hz, tendo o paralelepípedo como principal fonte de geração de vibração de corpo inteiro. O asfalto mostra-se novamente como o tipo de terreno que menos expõe os motoristas aos efeitos da vibração de corpo inteiro.

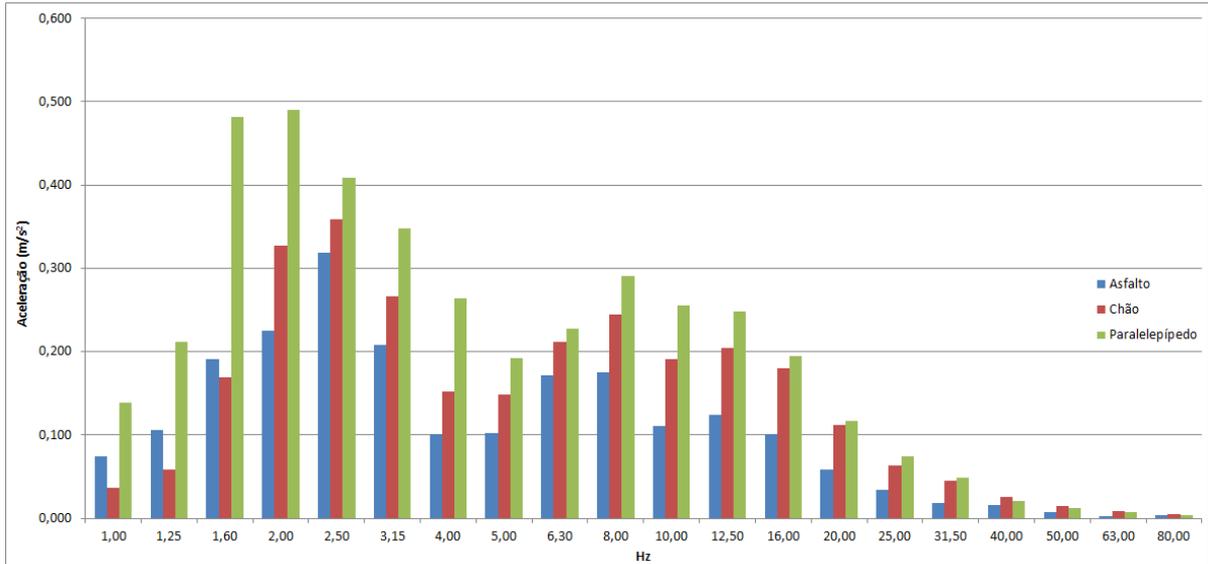


Figura 22 - Aceleração rms ponderada (a_w) média, medida no assento dos motoristas.

Fonte: Autor.

Tabela 18 - Aceleração rms ponderada (a_w) média.

Fonte: Autor.

Hz	<i>Asfalto</i>	<i>Chão</i>	<i>Paralelepípedo</i>
1,00	0,074	0,037	0,139
1,25	0,105	0,058	0,211
1,60	0,191	0,169	0,481
2,00	0,225	0,327	0,491
2,50	0,319	0,358	0,408
3,15	0,208	0,266	0,348
4,00	0,101	0,152	0,264
5,00	0,102	0,148	0,192
6,30	0,172	0,212	0,227
8,00	0,175	0,245	0,291
10,00	0,111	0,191	0,255
12,50	0,125	0,204	0,248
16,00	0,101	0,180	0,195
20,00	0,059	0,112	0,117
25,00	0,034	0,063	0,074
31,50	0,018	0,045	0,048
40,00	0,016	0,025	0,021
50,00	0,007	0,014	0,013
63,00	0,002	0,008	0,007
80,00	0,003	0,005	0,004

4.3 Avaliação dos dados segundo ACGIH

A avaliação dos dados utilizando as curvas da ACGIH fornecem informações importantes sobre o conforto do motorista em cada banda de frequência medida.

Os valores de aceleração rms, medidos em m/s^2 , são colocados diretamente no gráfico, sem ponderação. As Figuras 23, 24 e 25 mostram os resultados obtidos para cada tipo de terreno medido. Foram analisadas frequências em bandas de 1/3 de oitava. As curvas limites indicam o valor máximo de aceleração suportado por um determinado período de tempo, como indica a legenda de cada gráfico.

Analisando os gráficos, percebe-se um padrão de comportamento da amplitude da aceleração em função das bandas de frequências. Em todos os tipos de terreno medidos, nas frequências mais baixas, de 1,0 a 4,0 Hz, os níveis de aceleração que chegam até o motorista ultrapassam os limites de conforto de 2,5 horas. Nessa faixa de frequências mais baixas, segundo Chafin *et al.* (1999), as pessoas normalmente apresentam dificuldades de manter a postura, e seus reflexos diminuem, além de apresentarem alterações de ventilação pulmonar, náuseas, enjoos, tonturas e cólicas.

Outro padrão que pode ser observado é que para frequências acima de 20 Hz os limites para conforto até 16 horas não foram ultrapassados, o que indica que nessas frequências, não estão ocorrendo níveis de vibração que excedam os limites estabelecidos para conforto das pessoas.

A faixa entre 4,0 e 20 Hz varia para cada tipo de terreno, porém, em todos eles os limites de conforto são ultrapassados.

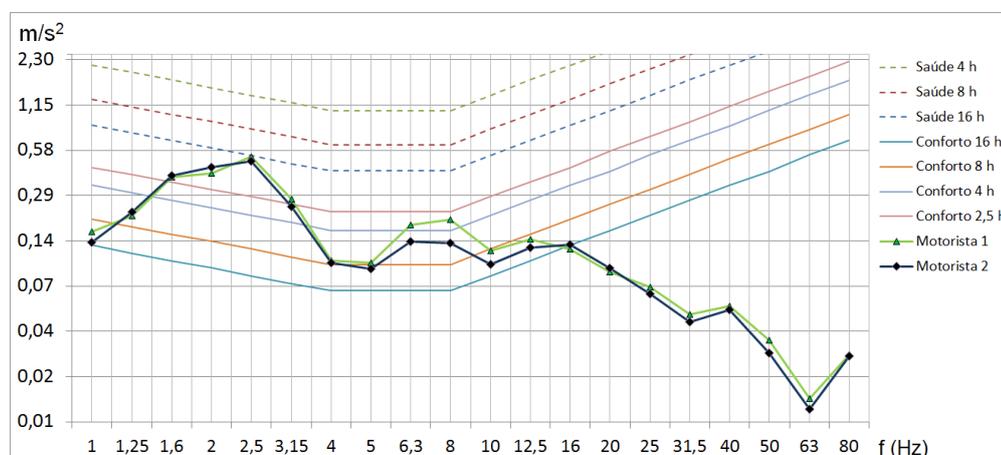


Figura 23 – Curvas ACGIH para o trecho de asfalto.

Fonte: Autor.

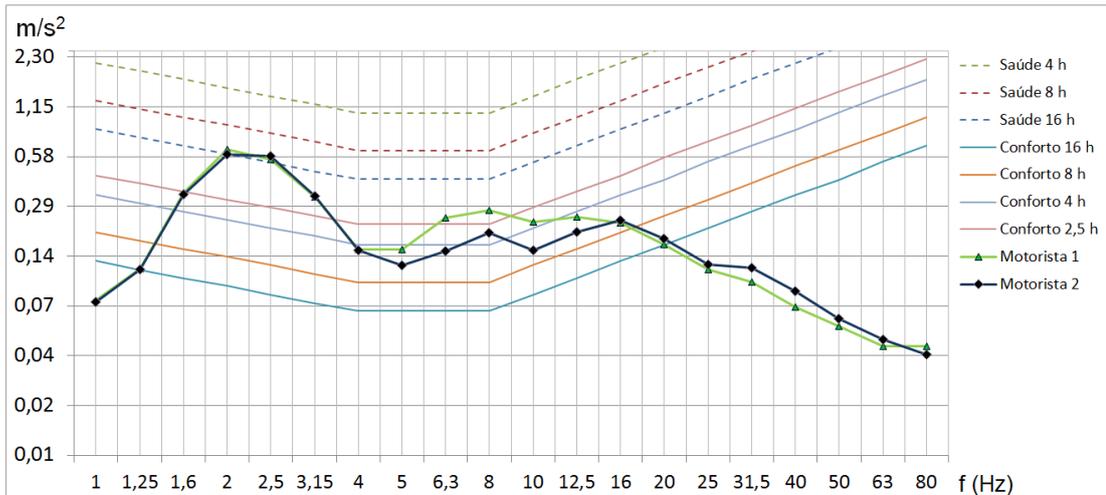


Figura 24 - Curvas ACGIH para o trecho de chão.

Fonte: Autor.

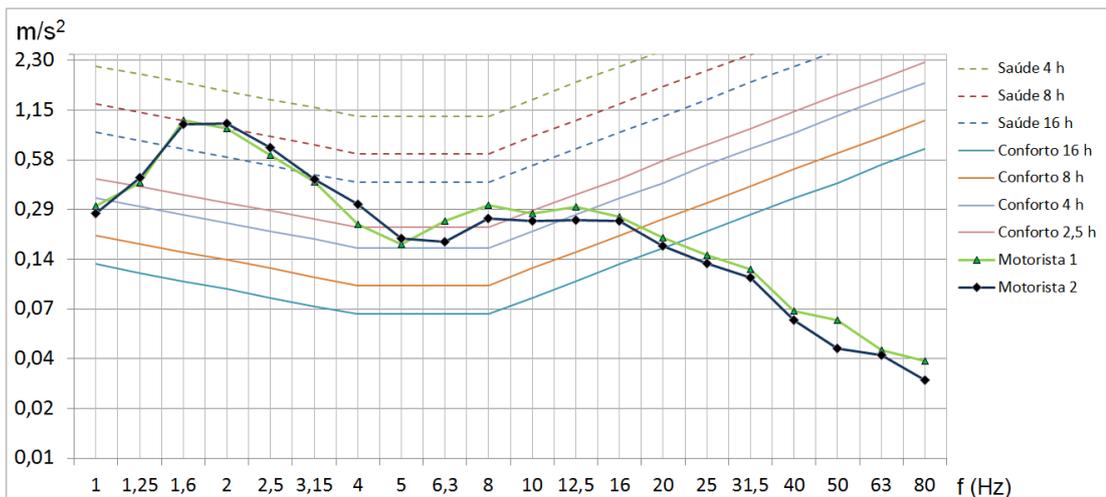


Figura 25 - Curvas ACGIH para o trecho de paralelepípedo.

Fonte: Autor.

Analisando-se as frequências entre 4 e 20 Hz, nota-se uma diferença considerável entre os três tipos de pista medidos. O asfalto apresenta níveis que não ultrapassam o conforto para 8 e 4 horas de operação, enquanto que para os trechos de chão e paralelepípedo, os níveis ficam acima do limite de conforto para 4 e 2,5 horas.

Fica evidente, pelas observações feitas anteriormente, que todos os trechos apresentam um comportamento semelhante e que pode ser dividido em três faixas de frequência: de 1,0 a

4,0 Hz, onde todos os trechos ultrapassaram o limite de conforto para 2,5 horas; de 4,0 a 20 Hz, onde cada trecho apresentou um resultado específico; e a faixa acima de 20 Hz, onde nenhum dos trechos apresentou níveis de aceleração que ultrapassaram os limites de conforto para o motorista.

Além dessas observações, nota-se também que o comportamento das acelerações para todos os perfis de pista independem do motorista, pois a semelhança entre os resultados, tanto para o motorista 1 quanto para o motorista 2 podem ser observados nos gráficos. Isso vai ao encontro dos resultados obtidos pela análise de variância, que indicou que não há influência significativa do motorista nos resultados finais.

Para todos os trechos avaliados, os níveis de conforto pelas curvas da ACGIH são ultrapassados. Para as frequências de 1,0 a 4,0 Hz, os níveis de aceleração ultrapassam o limite de conforto para 2,5 horas, chegando até o limite de saúde em algumas frequências. Para as faixas acima de 20 Hz, os níveis de aceleração são reduzidos, ficando abaixo do limite de conforto. Para as faixas intermediárias, de 4,0 a 20 Hz, cada trecho apresentou um resultado diferente, porém todos acima do limite de conforto para 2,5 horas. Isso indica que, independentemente do tipo de pista, em alguma frequência, o motorista estará sujeito a níveis de aceleração que excedem o limite de conforto durante a operação do veículo.

4.4 Avaliação do fator de transmissibilidade SEAT

Os níveis de aceleração que chegam até o motorista, ou seja, aqueles medidos no assento são fortemente influenciados pela capacidade da poltrona em absorver tais acelerações. Por isso, uma análise de transmissibilidade da poltrona se faz necessária. Mesmo que para esse trabalho tenha sido utilizada apenas uma poltrona, é importante se determinar o fator de transmissibilidade da poltrona, pois ela se torna um fator importante na determinação dos níveis de vibração de corpo inteiro à que os motoristas estão expostos.

Os dados foram analisados por bandas de frequência em 1/3 de oitava. Para cada medição, a transmissibilidade da poltrona, relacionando as acelerações rms medidas no assento e na base da poltrona, foi calculada utilizando-se a equação 2.4.

A Tabela 19 mostra o resultado da transmissibilidade calculada para cada banda de frequência em todas as medições realizadas para o motorista 1. A coluna \bar{x} da Tabela 19 apresenta a média da transmissibilidade para cada terreno. Os dados mostrados nessa tabela foram organizados em forma de gráfico e apresentados na Figura 26.

Tabela 19 – Transmissibilidade calculada para o motorista 1 em cada medição.
Fonte: Autor.

Hz	Asfalto				Chão				Paralelepípedo			
	N = 1	N = 2	N = 3	\bar{x}	N = 1	N = 2	N = 3	\bar{x}	N = 1	N = 2	N = 3	\bar{x}
1,00	1,34	1,30	1,29	1,31	1,27	1,33	1,25	1,28	0,86	1,33	1,35	1,18
1,25	1,50	1,45	1,46	1,47	1,41	1,45	1,46	1,44	1,11	1,47	1,49	1,36
1,60	1,75	1,72	1,71	1,73	1,72	1,79	1,71	1,74	1,57	1,72	1,72	1,67
2,00	2,14	2,02	2,01	2,06	1,99	2,11	2,07	2,06	1,77	2,03	2,02	1,94
2,50	2,03	1,81	1,76	1,87	1,83	1,86	1,82	1,84	1,72	1,88	1,90	1,83
3,15	1,31	1,20	1,38	1,30	1,33	1,38	1,24	1,32	1,37	1,45	1,47	1,43
4,00	0,75	0,75	0,70	0,73	0,70	0,67	0,75	0,71	0,73	0,92	0,88	0,84
5,00	0,92	1,13	0,94	1,00	0,75	0,74	0,78	0,76	0,68	0,83	0,91	0,81
6,30	2,51	3,53	3,03	3,03	1,35	1,54	1,33	1,40	0,99	1,20	1,28	1,16
8,00	1,44	1,05	1,20	1,23	0,62	0,86	0,77	0,75	0,73	0,77	0,78	0,76
10,00	0,80	0,85	0,59	0,75	0,41	0,39	0,39	0,40	0,41	0,43	0,45	0,43
12,50	0,58	0,57	0,45	0,54	0,45	0,38	0,37	0,40	0,40	0,39	0,43	0,41
16,00	0,57	0,63	0,57	0,59	0,57	0,47	0,48	0,51	0,46	0,51	0,48	0,48
20,00	0,66	0,66	0,58	0,63	0,57	0,46	0,51	0,51	0,42	0,43	0,42	0,42
25,00	0,55	0,59	0,54	0,56	0,36	0,32	0,30	0,33	0,28	0,29	0,27	0,28
31,50	0,32	0,35	0,37	0,35	0,30	0,23	0,24	0,25	0,23	0,23	0,23	0,23
40,00	0,09	0,15	0,11	0,12	0,20	0,14	0,16	0,17	0,16	0,16	0,14	0,15
50,00	0,12	0,18	0,14	0,15	0,15	0,12	0,14	0,14	0,11	0,13	0,12	0,12
63,00	0,08	0,10	0,10	0,09	0,10	0,08	0,09	0,09	0,07	0,07	0,07	0,07
80,00	0,07	0,09	0,08	0,08	0,14	0,08	0,09	0,10	0,08	0,09	0,09	0,09

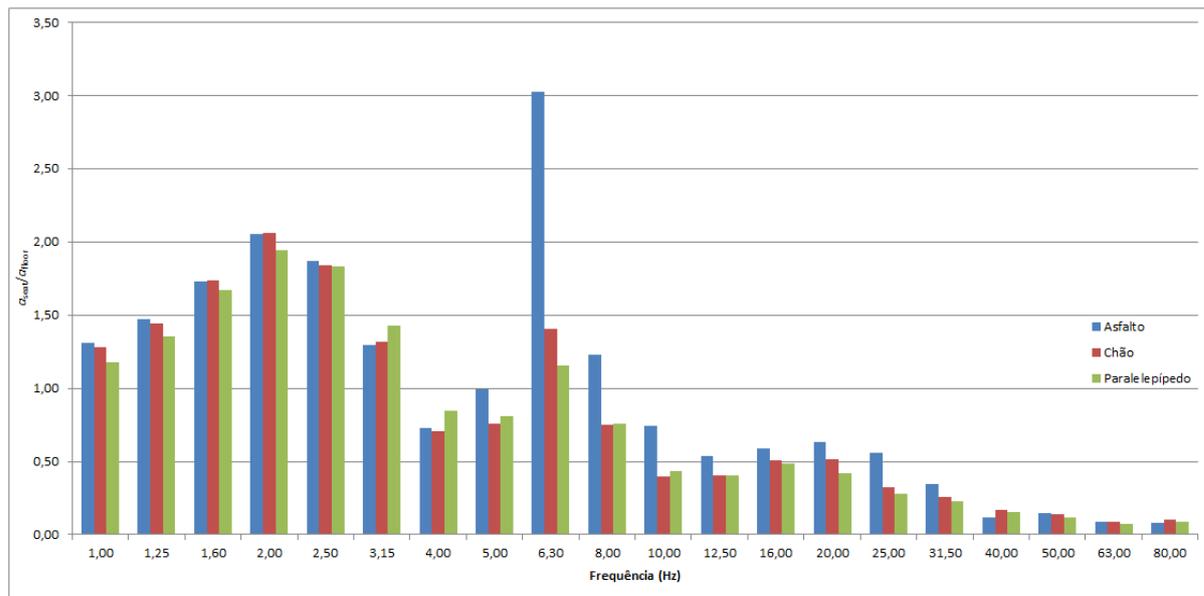


Figura 26 - Transmissibilidade calculada para o motorista 1.

Fonte: Autor.

Tabela 20 – Transmissibilidade calculada para o motorista 2 em cada medição.
Fonte: Autor.

Hz	Asfalto				Chão				Paralelepípedo			
	N = 1	N = 2	N = 3	\bar{x}	N = 1	N = 2	N = 3	\bar{x}	N = 1	N = 2	N = 3	\bar{x}
1,00	1,37	1,36	1,32	1,35	1,29	1,31	1,38	1,33	1,38	1,33	1,40	1,37
1,25	1,53	1,56	1,48	1,52	1,50	1,48	1,53	1,50	1,55	1,55	1,58	1,56
1,60	1,92	1,94	1,77	1,88	2,06	1,91	2,04	2,00	1,87	1,89	1,95	1,90
2,00	2,33	2,53	2,14	2,33	2,67	2,34	2,74	2,59	2,30	2,39	2,53	2,41
2,50	1,89	1,97	1,89	1,92	1,96	1,98	1,84	1,93	1,93	1,97	1,90	1,93
3,15	1,23	1,31	1,21	1,25	1,23	1,23	1,23	1,23	1,52	1,69	1,52	1,58
4,00	0,71	0,85	0,79	0,78	0,71	0,79	0,66	0,72	1,02	1,06	0,97	1,02
5,00	0,97	1,00	0,85	0,94	0,61	0,73	0,67	0,67	0,84	0,99	0,85	0,89
6,30	2,47	2,20	1,92	2,20	0,90	1,04	1,09	1,01	0,83	0,89	0,83	0,85
8,00	0,99	0,95	0,99	0,98	0,41	0,57	0,63	0,54	0,68	0,66	0,56	0,63
10,00	0,73	0,49	0,60	0,60	0,22	0,30	0,22	0,25	0,42	0,39	0,36	0,39
12,50	0,54	0,43	0,51	0,49	0,26	0,36	0,27	0,30	0,36	0,34	0,35	0,35
16,00	0,62	0,68	0,60	0,64	0,42	0,55	0,40	0,46	0,48	0,41	0,46	0,45
20,00	0,73	0,64	0,79	0,72	0,42	0,57	0,42	0,47	0,39	0,37	0,37	0,38
25,00	0,59	0,42	0,49	0,50	0,28	0,33	0,28	0,29	0,28	0,26	0,23	0,26
31,50	0,30	0,28	0,31	0,30	0,28	0,28	0,23	0,26	0,23	0,22	0,21	0,22
40,00	0,11	0,09	0,13	0,11	0,18	0,23	0,15	0,18	0,17	0,14	0,14	0,15
50,00	0,12	0,10	0,15	0,13	0,13	0,15	0,10	0,13	0,10	0,08	0,08	0,08
63,00	0,07	0,07	0,08	0,07	0,09	0,10	0,06	0,08	0,06	0,06	0,07	0,06
80,00	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,12	0,07	0,09	0,08	0,07	0,08	0,08

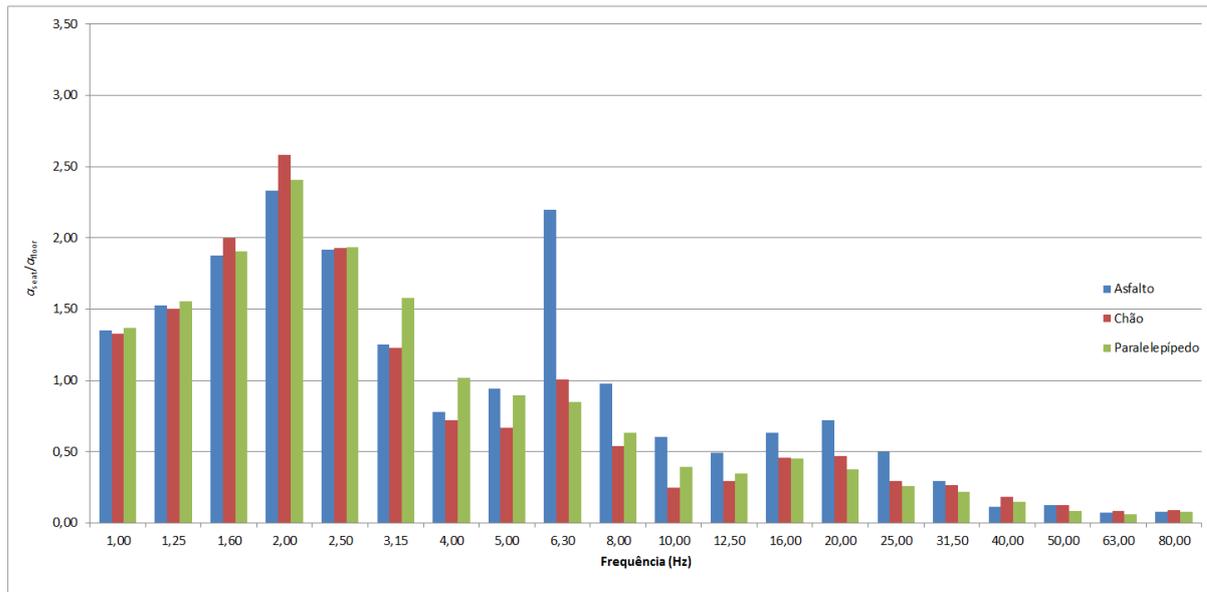


Figura 27 - Transmissibilidade calculada para o motorista 2.

Fonte: Autor.

A Tabela 20 mostra o resultado da transmissibilidade calculada para cada banda de frequência em todas as medições realizadas para o motorista 2. A coluna \bar{x} da Tabela 20 apresenta a média da transmissibilidade para cada terreno. Da mesma forma que para o motorista 1, os dados mostrados nessa tabela foram organizados em forma de gráfico e apresentados na Figura 27.

Os gráficos das figuras 29 e 30 mostram que as amplitudes de aceleração são significativamente amplificadas nas faixas de frequências entre 1,0 e 3,15 Hz, especialmente para a frequência de 2,0 Hz. Além dessas faixas, as frequências entre 6,3 e 8,0 Hz também apresentam amplificação da amplitude de aceleração. A frequência em que ocorre a maior amplificação é de 2,0 Hz, atingindo um SEAT maior que 2,0 para todos os tipos de pista. Isso indica que a poltrona utilizada no veículo não é eficiente na atenuação das amplitudes em algumas faixas de frequências.

Comparando os resultados obtidos nesse trabalho com os resultados obtidos por Anflor (2001) e Minozzo (2012), que utilizaram um modelo de poltrona similar em seus estudos, percebe-se que os resultados são semelhantes. Ambos os trabalhos obtiveram conclusões que apontavam uma amplificação das amplitudes de vibração para as faixas de frequências inferiores à 10 Hz. Tal efeito foi também observado nesse trabalho. Segundo Rao (2008), a amplificação da amplitude da frequência transmitida está relacionada com a proximidade da frequência de excitação com a frequência de ressonância do sistema. Nesse caso, é provável que o sistema de vibração poltrona + motorista possua uma frequência de ressonância dentro das faixas mencionadas.

Independentemente do tipo de estrada, as amplitudes são igualmente amplificadas em algumas faixas de frequência, confirmando o fato de que a poltrona utilizada não é eficiente para frequências inferiores a 10 Hz.

Observando os gráficos das figuras 26 e 27, os resultados para ambos motoristas chamam a atenção na faixa de frequência de 6,3 Hz. Para o asfalto, a amplificação da amplitude de aceleração foi acentuadamente maior que nos trechos de chão e paralelepípedo. Essa ocorrência pode se justificar pelo fato de que, no asfalto, a frequência predominante de aceleração se encontra próxima a essa faixa (Ciapparini, 2012). Além disso, o veículo trafegando no asfalto desempenhava uma velocidade maior que nos outros trechos. Assim, a frequência de funcionamento do motor pode ter interferido nos resultados finais. A frequência

natural do sistema poltrona também se encontra próxima a essa frequência (Anflor, 2001; Minozzo, 2012), indicando a possibilidade da ocorrência de ressonância do sistema.

Assim, com os resultados obtidos para essa análise, verifica-se que a poltrona utilizada no veículo testado apresenta bons resultados na atenuação das amplitudes de aceleração que chegam até o motorista para frequências acima de 10 Hz. Porém, não contribui de forma positiva para reduzir a vibração de corpo inteiro sofrida pelo motorista para frequências menores que 10 Hz, chegando em alguns casos a amplificar tais vibrações.

Dessa forma, a poltrona utilizada no veículo testado não é eficiente para todas as faixas de frequências. Para frequências inferiores a 10 Hz, a poltrona amplifica a amplitude de aceleração, o que indica que está operando próxima a sua frequência natural de 7 Hz.

4.5 Avaliação do Trecho regular

A análise do trecho regular será desenvolvida separadamente dos demais trechos por se tratar de uma combinação dos trechos analisados anteriormente. O objetivo dessa análise é encontrar alguma relação dos resultados para um percurso completo, com diferentes tipos de estradas e condições de trafegabilidade, com os resultados obtidos para cada trecho individualmente. Como já foi observado anteriormente, o motorista não é um fator influente no resultado final da vibração de corpo inteiro, portanto, para as análises desenvolvidas nessa seção, foram avaliadas as médias finais entre os dois motoristas.

4.5.1 Análise das vibrações no domínio da frequência

Os valores de aceleração rms medidos na base e no assento da poltrona, sem ponderação, estão apresentados na Tabela 21.

Comparando os resultados das acelerações medidas no trecho regular com os resultados medidos para os demais terrenos, observa-se que o comportamento das acelerações é semelhante para cada faixa de frequência. O gráfico da Figura 17, que mostra os níveis de aceleração medidos no assento, se assemelha com os dados observados para o assento da Figura 31. Os maiores níveis de aceleração foram observados para as frequências mais baixas, centralizadas em 2,0 Hz. O mesmo ocorre para os níveis de aceleração medidos na base. A Figura 21 mostra os níveis de aceleração medidos na base para cada trecho, que, se

comparados com dados para a base mostrados na Figura 28, são semelhantes, ou seja, apresentam uma distribuição dos níveis de aceleração em todas as faixas medidas.

Tabela 21 - Aceleração rms média do trecho regular.

Fonte: Autor.

Hz	<i>Assento</i>	<i>Base</i>
1,00	0,262	0,193
1,25	0,441	0,289
1,60	0,627	0,339
2,00	0,876	0,400
2,50	0,677	0,351
3,15	0,327	0,256
4,00	0,204	0,203
5,00	0,160	0,159
6,30	0,224	0,139
8,00	0,224	0,304
10,00	0,232	0,449
12,50	0,250	0,528
16,00	0,224	0,359
20,00	0,207	0,330
25,00	0,119	0,360
31,50	0,108	0,392
40,00	0,072	0,369
50,00	0,056	0,566
63,00	0,035	0,508
80,00	0,024	0,281

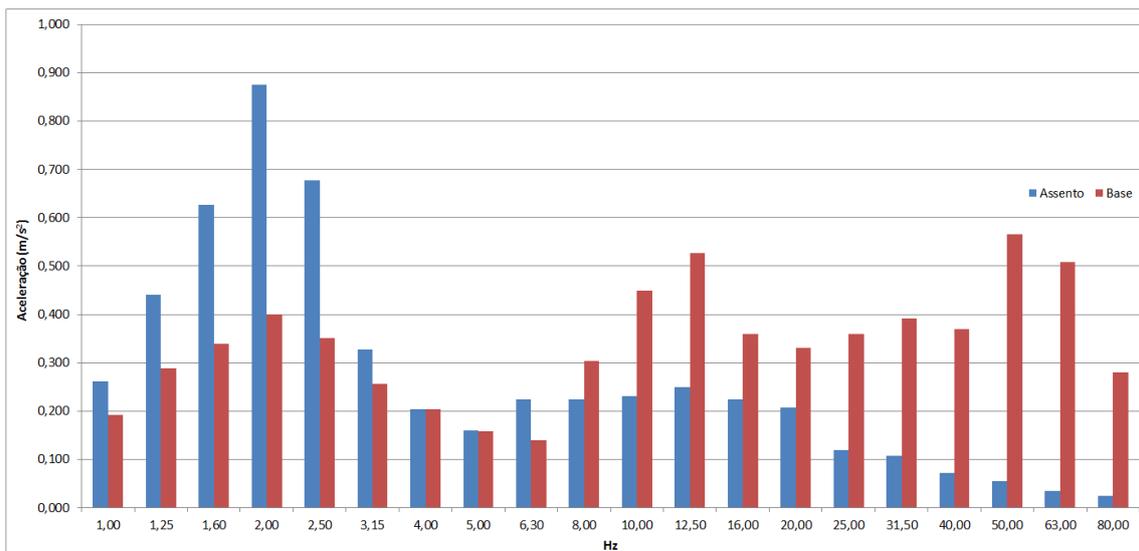


Figura 28 – Aceleração rms média medida na base e no assento para ambos os motoristas.

Fonte: Autor.

Assim, observa-se que independente do tipo de terreno, ou da combinação de terrenos e condições em que o veículo está trafegando, os sinais de aceleração que chegam até o posto do motorista, e posteriormente até o assento através da poltrona, são semelhantes, diferenciando-se entre si apenas pelas amplitudes.

4.5.2 Avaliação das acelerações ponderadas

Analisando-se os dados do trecho regular, considerando a aceleração ponderada, conforme indicação da ISO 2631-1 (1997), foram calculadas as acelerações ponderadas para cada banda de frequência, utilizando bandas de 1/3 de oitava. Os valores calculados para cada banda de frequência estão mostrados na Tabela 22.

Foram considerados os valores medidos no eixo z do acelerômetro tipo *seat pad* instalado no assento da poltrona do motorista. Como citado anteriormente, a influência dos motoristas não é significativa, portanto, a análise é feita apenas com a média final entre eles.

As médias das acelerações rms ponderadas para o trecho regular são apresentadas em forma de gráfico na Figura 29.

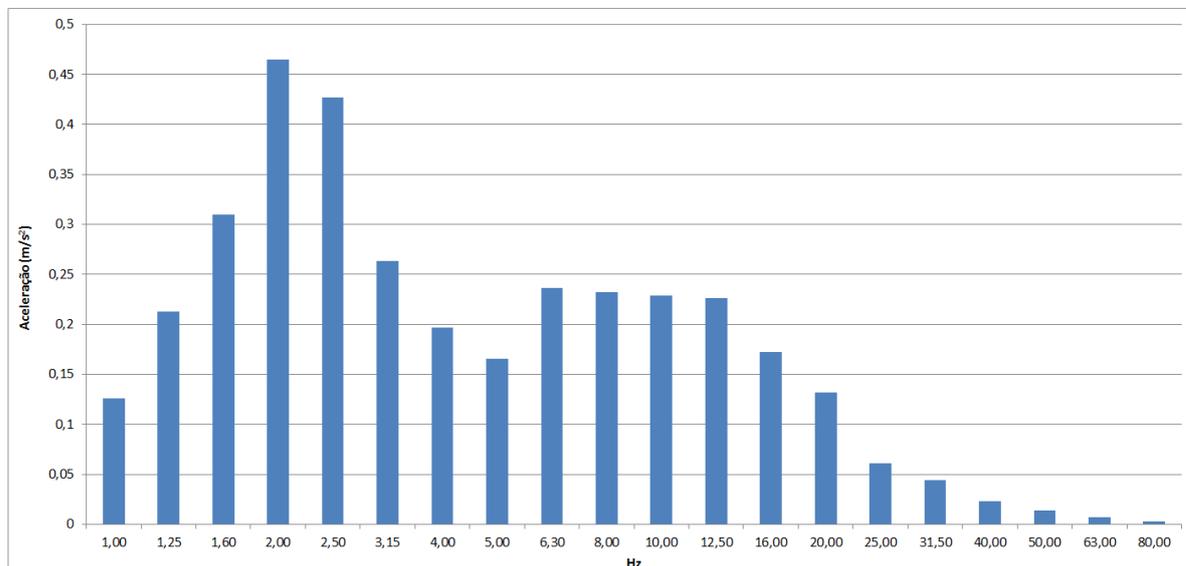


Figura 29 - Aceleração rms ponderada média no assento para o trecho regular.

Fonte: Autor.

Tabela 22 - Aceleração rms ponderada (a_w) medida sobre o assento no trecho regular.

Fonte: Autor.

Hz	<i>Motorista 1</i>	<i>Motorista 2</i>	<i>Média</i>
1,00	0,141	0,112	0,126
1,25	0,193	0,233	0,213
1,60	0,278	0,342	0,310
2,00	0,426	0,505	0,465
2,50	0,394	0,460	0,427
3,15	0,259	0,267	0,263
4,00	0,171	0,223	0,197
5,00	0,150	0,182	0,166
6,30	0,242	0,230	0,236
8,00	0,258	0,206	0,232
10,00	0,253	0,205	0,229
12,50	0,258	0,194	0,226
16,00	0,187	0,157	0,172
20,00	0,152	0,112	0,132
25,00	0,073	0,049	0,061
31,50	0,049	0,039	0,044
40,00	0,026	0,019	0,023
50,00	0,015	0,012	0,014
63,00	0,008	0,006	0,007
80,00	0,004	0,003	0,003

Comparando-se o gráfico da Figura 29 com o resultado da aceleração rms ponderada média para cada trecho, mostrado no gráfico da Figura 22, percebe-se mais uma vez a semelhança no comportamento dos níveis de aceleração para cada faixa de frequência. Inclusive, os níveis de aceleração rms ponderada calculados se assemelham em todas as faixas de frequências.

Calculando o valor efetivo da aceleração rms ponderada para todo o trecho, como indicado pela norma ISO 2631-1 (1997), utilizando-se a equação 2.2, foi obtido o valor equivalente da aceleração para o trecho regular, a fim de se comparar com os valores medidos para cada tipo de pista individualmente. A Tabela 23 apresenta o resultado para cada

motorista e o valor médio entre eles. A comparação entre esses valores com os demais tipos de terreno é mostrada na Tabela 24.

Tabela 23 – Aceleração rms ponderada resultante (a_w) medida no trecho regular.

Fonte: Autor.

	<i>Motorista 1</i>	<i>Motorista 2</i>	<i>Média</i>
<i>Trecho Regular</i>	0,96	1,01	0,98

Tabela 24 – Aceleração ponderada resultante (a_w) de todos os perfis de pistas medidos.

Fonte: Autor.

	<i>Motorista 1</i>	<i>Motorista 2</i>	<i>Média</i>
<i>Asfalto</i>	0,64	0,59	0,61
<i>Chão</i>	0,83	0,75	0,79
<i>Paralelepípedo</i>	1,13	1,12	1,12
<i>Trecho Regular</i>	0,96	1,01	0,98

O resultado do nível de aceleração rms ponderada resultante para o trecho não pode ser concluído a partir de trechos individuais, e nem se pode fazer relações entre o trecho regular e outros trechos individuais. A medição das acelerações efetivas e o cálculo da aceleração resultante para o trecho se faz necessária, e cada trecho e condição medida apresenta um resultado diferente.

4.5.3 Avaliação segundo curvas ACGIH

Os dados medidos no trecho regular também foram analisados de acordo com as curvas da ACGIH. A Figura 30 mostra o gráfico das curvas ACGIH para o trecho regular, com as acelerações rms medidas no assento da poltrona dos motoristas.

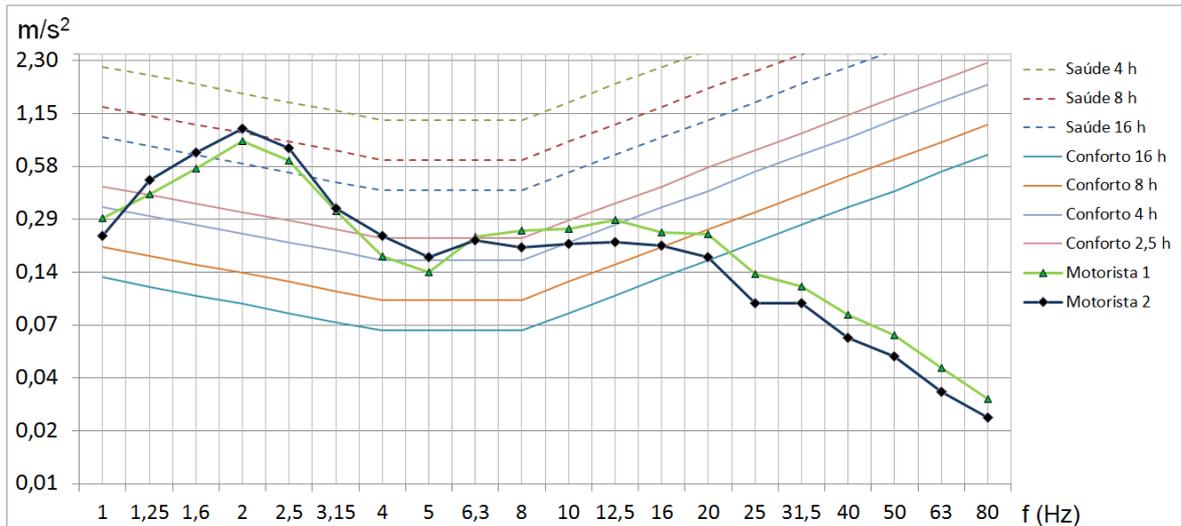


Figura 30 - Curvas ACGIH para o trecho regular.

Fonte: Autor.

Observa-se que o comportamento da aceleração nas diferentes faixas de frequência foi semelhante ao dos trechos individuais.

Nas frequências mais baixas, de 1,0 a 4,0 Hz, os níveis de aceleração foram mais elevados, ultrapassando os limites de conforto e saúde dos motoristas. Da mesma forma que nas análises dos trechos individuais, as frequências acima de 20 Hz não ultrapassaram os limites de conforto. Para as frequências intermediárias, de 4 a 20 Hz, os níveis de aceleração se assemelham aos resultados obtidos para os trechos de estrada de chão e paralelepípedo.

A análise do trecho regular revelou que, independente do tipo de terreno, combinação de trecho ou trafegabilidade, o comportamento da aceleração que chega até o motorista, nas faixas de frequências medidas, é semelhante às medições feitas nos trechos separadamente. O mesmo acontece para as curvas de conforto da ACGIH. O comportamento observado foi o mesmo tanto para o trecho regular quanto para os trechos individuais medidos;

4.5.4 Análise da transmissibilidade SEAT

Para o trecho regular também foi realizada a análise de transmissibilidade da poltrona da mesma forma apresentada anteriormente para os trechos individuais. A Tabela 25 apresenta os valores de transmissibilidade para cada faixa de frequência, calculados pela razão

entre a aceleração rms medida no assento e na base da poltrona, de acordo com a equação 2.4. Os dados mostrados na Tabela 25 estão apresentados no gráfico da Figura 31.

Para facilitar a comparação entre as medições do trecho regular com as medições feitas nos trechos individuais, as figuras 32 e 33 apresentam os resultados das medições de transmissibilidade para os dois motoristas nos três trechos medidos separadamente.

Tabela 25 – Transmissibilidade para cada motorista medida no trecho regular.

Fonte: Autor.

Hz	<i>Motorista 1</i>	<i>Motorista 2</i>	<i>Média</i>
1,00	1,34	1,38	1,36
1,25	1,47	1,57	1,52
1,60	1,72	1,97	1,84
2,00	1,94	2,45	2,19
2,50	1,80	2,06	1,93
3,15	1,26	1,30	1,28
4,00	0,87	1,14	1,00
5,00	0,90	1,12	1,01
6,30	1,65	1,57	1,61
8,00	0,80	0,67	0,74
10,00	0,55	0,48	0,52
12,50	0,51	0,43	0,47
16,00	0,66	0,59	0,62
20,00	0,72	0,54	0,63
25,00	0,38	0,27	0,33
31,50	0,29	0,26	0,27
40,00	0,21	0,17	0,19
50,00	0,11	0,09	0,10
63,00	0,08	0,06	0,07
80,00	0,09	0,08	0,09

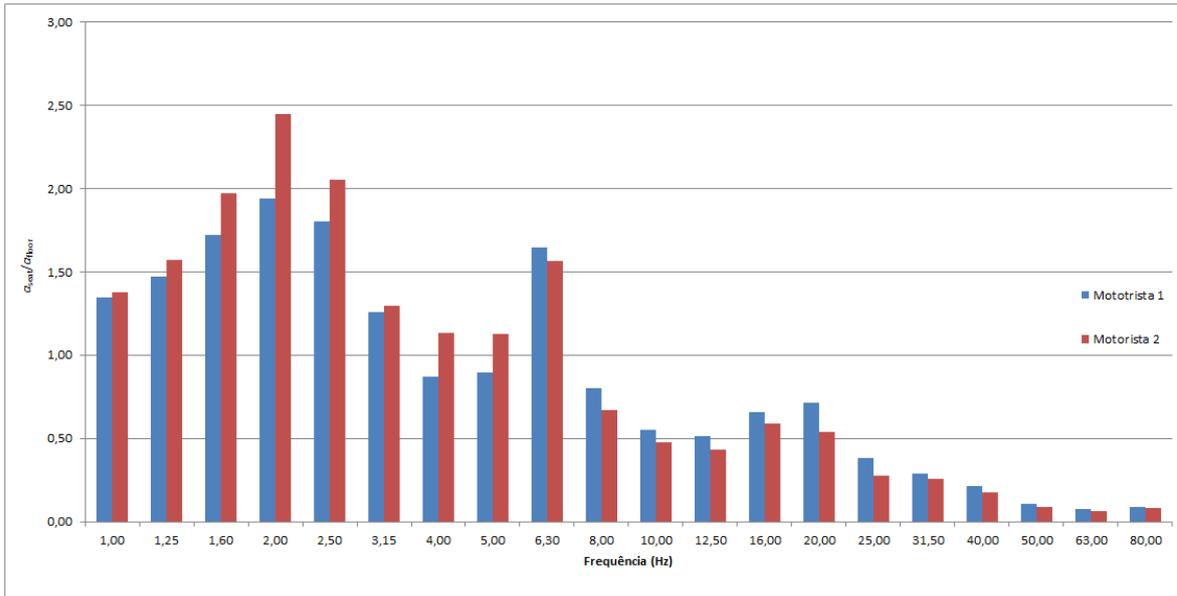


Figura 31 – Transmissibilidade no trecho regular.

Fonte: Autor.

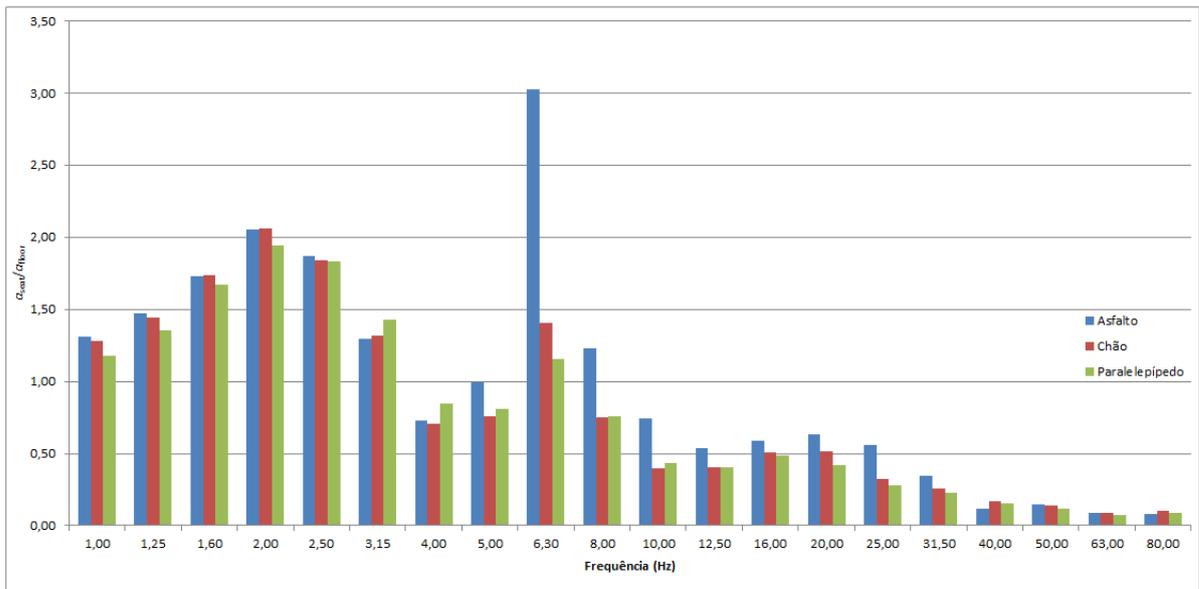


Figura 32 - Transmissibilidade calculada para o motorista 1.

Fonte: Autor.

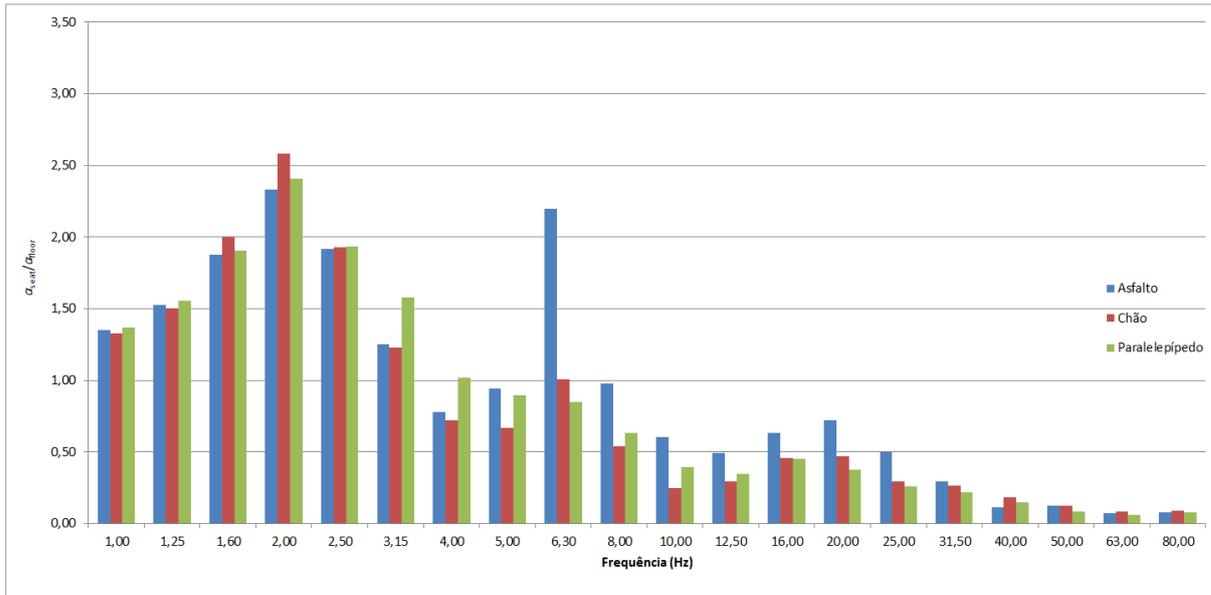


Figura 33 - Transmissibilidade calculada para o motorista 2.

Fonte: Autor.

Assim como observado nos trechos individuais anteriormente, em frequências abaixo de 10 Hz, a poltrona do motorista se mostra ineficiente em atenuar as amplitudes de aceleração que chegam até o motorista. As mesmas faixas de frequências, onde ocorre amplificação acentuada da amplitude de aceleração, são observadas tanto para o trecho regular quanto para os trechos individuais. Isso representa mais uma evidência de que a poltrona utilizada no veículo testado não é totalmente eficiente no seu papel de atenuar as amplitudes de vibração que chegam até o motorista, e provavelmente a poltrona está sendo utilizada em uma faixa de frequência muito próxima da sua frequência natural.

A transmissibilidade da poltrona calculada para o trecho regular resultou em valores aproximados aos dos trechos individuais, o que mostra que a resposta do sistema de vibração poltrona e motorista não foi fortemente influenciada pelo tipo de terreno em que se está trafegando. Porém, deve-se observar com mais detalhes a influência das frequências principais de excitação das pistas com a frequência natural do sistema, uma vez que todos os tipos de pista apresentaram frequências principais de excitação muito próximas, porém com amplitudes diferentes.

5 CONCLUSÕES

Tendo sido definido inicialmente o objetivo principal deste trabalho como a medição e a avaliação dos níveis de aceleração sofridos por motoristas de ônibus urbanos, causados por diferentes tipos de pistas encontradas nas principais cidades onde existe transporte público, pode-se afirmar que tais objetivos puderam ser alcançados ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Além das medições dos dados de pista e da análise desses dados, a interpretação dos resultados, voltada para os objetivos específicos determinados inicialmente, puderam ser realizados.

No capítulo anterior, foram realizadas análises individuais para cada fator influente no resultado final da vibração de corpo inteiro sofrida pelos motoristas de ônibus urbanos, ao trafegarem por diferentes tipos de estradas.

Além do objetivo principal do trabalho de avaliar a influência dos diferentes tipos de pistas sobre o resultado da VCI sofrida pelo motorista, a transmissibilidade da poltrona também pode ser avaliada. Os resultados das acelerações medidas no assento da poltrona estão diretamente relacionados com a capacidade de amortecimento da poltrona, uma vez que, pelos resultados da transmissibilidade, percebe-se que ela é capaz de atenuar de forma eficiente as acelerações em frequências acima de 10 Hz. Da mesma forma, os níveis elevados de aceleração verificados para frequências abaixo de 10 Hz também estão relacionados com a transmissibilidade da poltrona. Em frequências abaixo dessa, a poltrona amplifica o sinal, provocando a ocorrência de níveis acentuados de aceleração. Pode-se perceber pelos resultados obtidos que a frequência natural do sistema de vibração poltrona mais motorista está muito próxima da frequência principal de excitação das pistas medidas.

Portanto, verifica-se que a poltrona é um fator de grande influência no resultado final da vibração sofrida pelo motorista. Mesmo não estando no escopo inicial do trabalho como um objetivo fundamental, percebe-se a importância que deve ser dada à poltrona na escolha da configuração do ônibus para transporte urbano, onde o motorista ficará exposto diariamente a uma jornada de trabalho, visando o cumprimento das legislações vigentes para vibração de corpo inteiro.

De maneira geral, o objetivo desse trabalho alcançado. Todas as instrumentações definidas no início puderam ser realizadas e os resultados gerados puderam ser analisados

adequadamente, permitindo análises cujos dados foram apresentados e discutidos nesse trabalho, possibilitando o cumprimento dos objetivos traçados inicialmente.

Conclui-se também que os resultados e as análises desenvolvidas nesse trabalho contribuíram para o desenvolvimento de conhecimento a respeito das vibrações de corpo inteiro sofridas por motoristas de ônibus urbanos, além de poderem ser utilizadas como parâmetros para futuros projetos de carrocerias e poltronas de ônibus em conformidades com as legislações vigentes sobre vibração de corpo inteiro.

5.1 Trabalhos futuros

Com o intuito de aprimorar os conhecimentos na área de vibrações de corpo inteiro sofridas por motoristas de ônibus urbanos, e contribuir para o conhecimento técnico de projetos voltados ao cumprimento de normas específicas, sugerem-se alguns trabalhos para serem desenvolvidos em complemento ao trabalho apresentado. São elas:

- a) Repetição da metodologia de ensaio, utilizando-se mais variáveis como: diferentes tipos de chassis, diferentes tipos de poltronas, variação dos pneus, variação dos modelos de ônibus, e outros fatores que possam interferir no resultado final, a fim de mapear e quantificar os fatores influentes na vibração de corpo inteiro do motorista;
- b) Estudar com uma população maior a influência dos motoristas nos resultados finais do teste, avaliando motoristas com características físicas e qualidades diferenciadas;
- c) Estudar a transmissibilidade da poltrona e determinar um projeto eficiente para atenuação das vibrações em nas faixas de frequências de interesse para a vibração de corpo inteiro do motorista;
- d) Realizar estudos avaliando as relações de doenças ocupacionais em motoristas de ônibus com as amplitudes de aceleração medidas em cada faixa de frequência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrusaitis, S, F. **Estudo da prevalência e fatores de risco da lombalgia em caminhoneiros do estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado, faculdade de medicina universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

Anflor, C. T. **Estudo da transmissibilidade da vibração no corpo humano na direção vertical e desenvolvimento de um modelo biodinâmico de quatro graus de liberdade**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

ANUÁRIO DO ÔNIBUS. **Anuário do ônibus 2014: o setor em números**. São Paulo, 2014.

Balbinot, A., **Caracterização dos Níveis de Vibração em Motoristas de Ônibus: Um enfoque no conforto e na saúde** (Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001).

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**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia mecânica, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

Blood, R.P., Plodger, J.D., Yost, M.G. et al., **Whole body vibration exposure in metropolitan bus drivers: a comparison of three seats**, Journal of Sound and Vibration 329 (2010) 109 - 120.

Bortolini, A. **Avaliação dos níveis de vibração em motoristas de composições veiculares de carga em diferentes pistas**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

Brüel&Kjaer, 2000.

Brüel & Kjaer Sound and Vibration Measurement A/S, Technical Documentation: Human vibration analyzer type 4447 User manual. Naerum, Denmark. 2008.

BS 6841. **Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock**. British Standard Guide, 1987.

Ciapparini, J.V., **Avaliação de fadiga de uma carroceria de ônibus submetida a diferentes perfis de pista**, Dissertação de mestrado, UFRGS, Porto Alegre.

Chaffin, D.B., Anderson, G.B.J., Martin, B.J., **Occupational biomechanics**, Wiley-Interscience (1999), USA.

DIRECTIVE 2002/44/EC. **On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration)**. The European Parliament and the Council of the European Union. Official Journal of the European Communities, L177/13-19, 2002.

Gillespie, T.D., **Fundamentals of vehicle dynamics**. Warrendale : SAE. 1992.

Godoy, M. R. **Analizador de Espectro FFT-PIC**. 2011. Disponível em:
<<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/1637>> Acesso em: 23 set. 2014.

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

Griffin. M., J., **A comparison of standardized methods for predicting the hazards of whole-body vibration and repeated shocks**. Journal of Sound and Vibration, 215 (4), 883-914, 1998.

Guimarães, R.C.; Sarsfield, J. A, **Estatística**. 1a. edição, São Paulo: McGraw-Hill, 1998.

Harris, Cyril M., Allan G. Piersol, **Harris' shock and vibration handbook**. 5a. edição, New York: McGraw-Hill, 2001.

ISO 2631, **Guide for the evaluation of human exposure to whole-body**, International Standard Organization, 1974.

ISO 2631, **Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: general requirements**, International Standard Organization, 1997.

ISO 8041, **Human response to vibration – measuring instrumentation**. International Standard Organization, 2005.

Magnusson, M.L., Pope, M.H., **A review of the biomechanics and epidemiology of working postures (it isn't always vibration which is to blame!)**, Journal of sound and vibration (1998) pp. 965-976.

Milosavljevic, S., McBride, D. I., Bagheri, N., et al., **Exposure to Whole-Body Vibration and Mechanical Shock: A Field Study of Quad Bike Use in Agriculture**, Annals of Occupational Hygiene (2011) Vol. 55(3) pp.286-295.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria TEM n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014. Atividades e operações insalubres. Disponível em <[http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14EAE840951/NR-15%20\(atualizada%202014\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14EAE840951/NR-15%20(atualizada%202014).pdf)>

Minozzo, F., **Avaliação vibracional de uma poltrona de ônibus urbano** (Trabalho de Conclusão de curso, Universidade de Caxias do Sul, 2012).

Nahvi, H., Fouladi, M.H., Nor, M.J.M., **Evaluation of whole body vibration and ride comfort in a passenger car**, International journal of acoustics and vibration (2009), vol. 14, No. 3, pp. 243-149.

Nardello, Ari, 2005. **Projeto de desenvolvimento de uma pista de testes**, Dissertação de mestrado , UFRGS, Porto Alegre.

Netter, F. H., **Atlas Interativo da anatomia humana**. Novartis Medical education, 1999.

NHO 09. **Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro**. Norma brasileira, 2013.

NR 15. **Norma regulamentadora 15 atividades e operações insalubres**. Norma brasileira, 2014.

Palmer, K.T., Coggon, D., Syddall, H. and Griffin, M.J., **Occupational exposures to whole-body vibration in Great Britain and their relation to low back pain** (paper presented at the 2nd International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, Siena, Italy, November 07-09, 2000).

Paulino, H. L. **Instrumentação e aquisição de dados extensométricos embarcado**. São Paulo: Strain Gage, 2007.

Pereira, C. A., Salles, G.C.S., Passos, J. P., **As condições de trabalho e sua relação com a saúde dos trabalhadores condutores de transporte**, Revista de pesquisa: cuidado é fundamental Online, out/dez. 2(Ed. Supl.):904-907, 2010.

Picu, A., **Whole Body Vibration Analysis for Bus Drivers** (paper presented at the SISOM and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest, Romania, May 28-29, 2009).

Rao, S., **Vibrações Mecânicas**. 4a. edição, São Paulo: Prentice Hall, 2008.

Sherwin, L. M., Owende, P. M. O., Kanali, C. L., et al., **Influence of tire inflation pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber harvester**, Applied Ergonomics, Vol.35(3) (2004), pp.253-261.

Stayner, R., **Whole body health affects-vibration or shock**, (paper presented at the 2nd International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, Siena, Italy, November 07-09, 2000).

Thamsuwan O., Blood, R.P., Ching, R.P., et al., **whole-Body vibration exposures in bus drivers: A comparison between a high-floor coach and low-floor city bus**, International Journal of Industrial Ergonomics 43 (2013): 9-17.

Trieppi M.G., Cantio, M., Saffioti, G., **Risk and effects of whole-body vibration in locomotive engineers**, (paper presented at the 2nd International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, Siena, Italy, November 07-09, 2000).

Walber, M. **Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais, análise e modificação projetual**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

Wang, Y.S., et al., 2002. **A study on nonstationary random vibration of a vehicle in time and frequency domains**, International Journal of Automotive Technology, Vol. 3, N. 3, p. 101-109.

Vér, I.L., Beranek, L.L., **Noise and vibration control engineering: principles and applications**, 2nd ed, John Wiley & Sons, New Jersey, 2006.

APÊNDICE A – Resultados das acelerações em cada medição

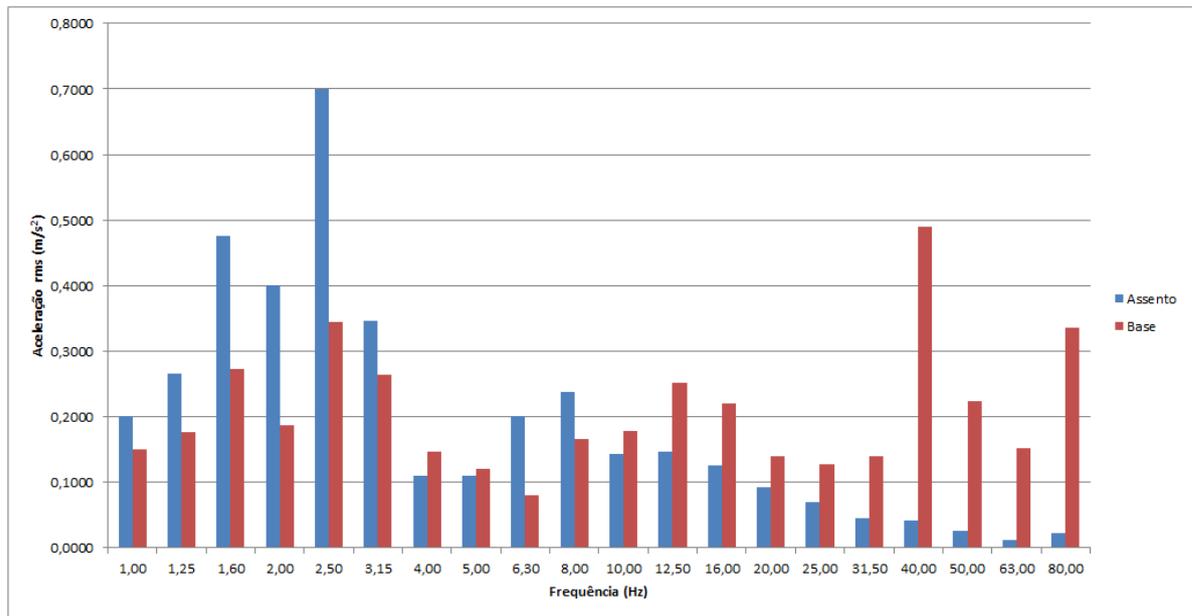


Figura A1 - Motorista 1 – Asfalto 1

Fonte: Autor.

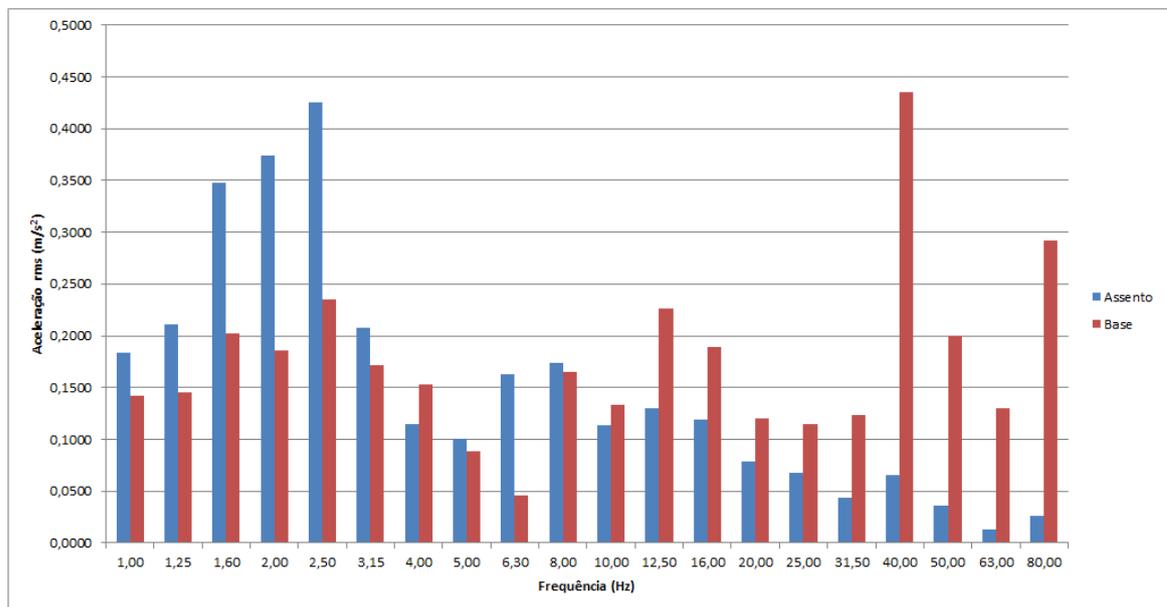


Figura A2 - Motorista 1 – Asfalto 2

Fonte: Autor.

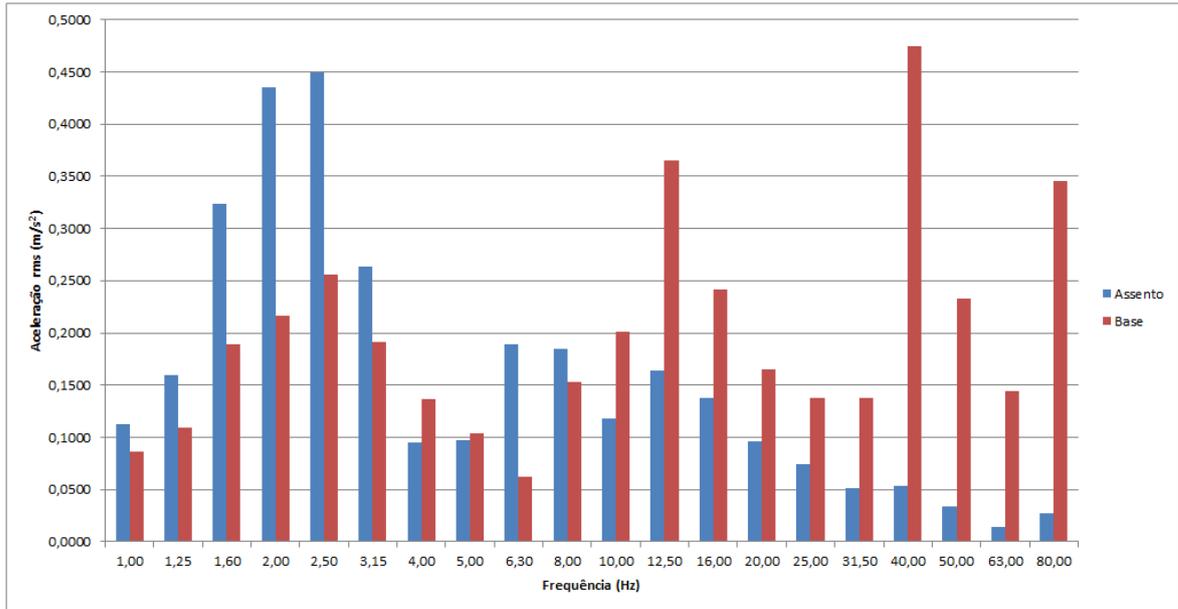


Figura A3 - Motorista 1 – Asfalto 3

Fonte: Autor.

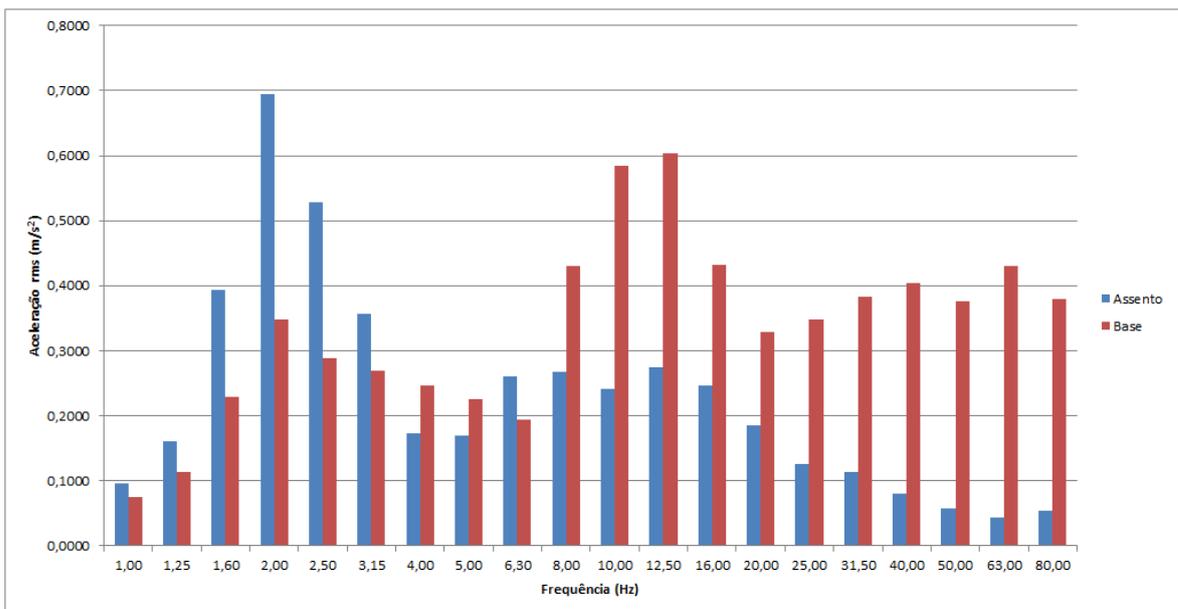


Figura A4 - Motorista 1 – Chão 1

Fonte: Autor.

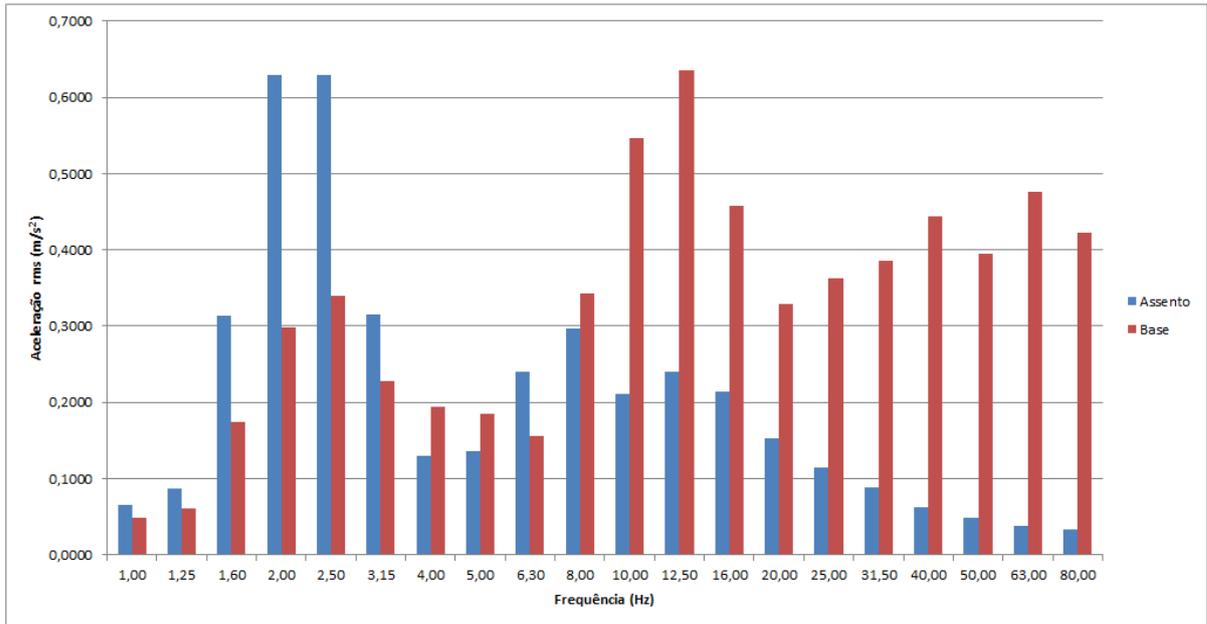


Figura A5 - Motorista 1 – Chão 2

Fonte: Autor.

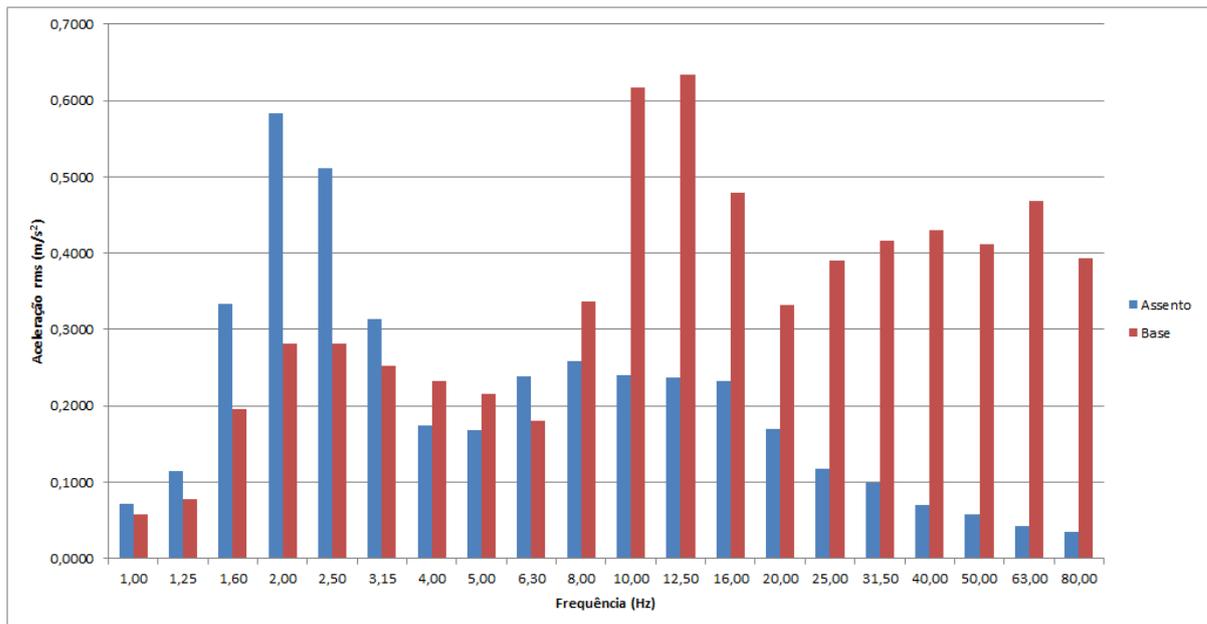


Figura A6 - Motorista 1 – Chão 3

Fonte: Autor.

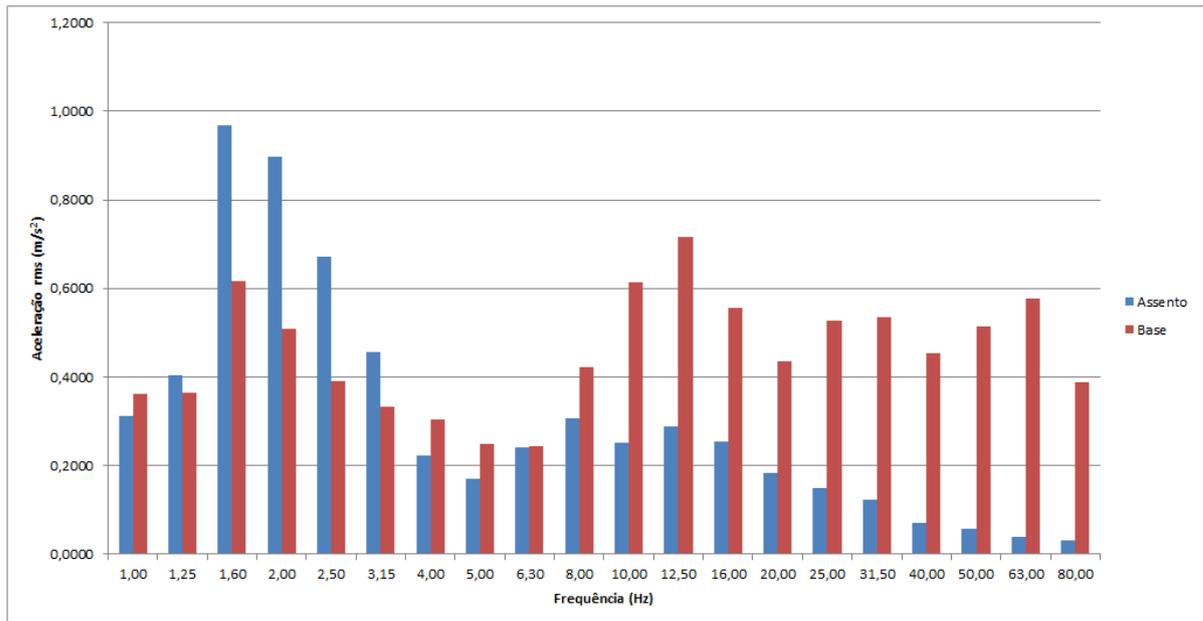


Figura A7 - Motorista 1 – Paralelepípedo 1

Fonte: Autor.

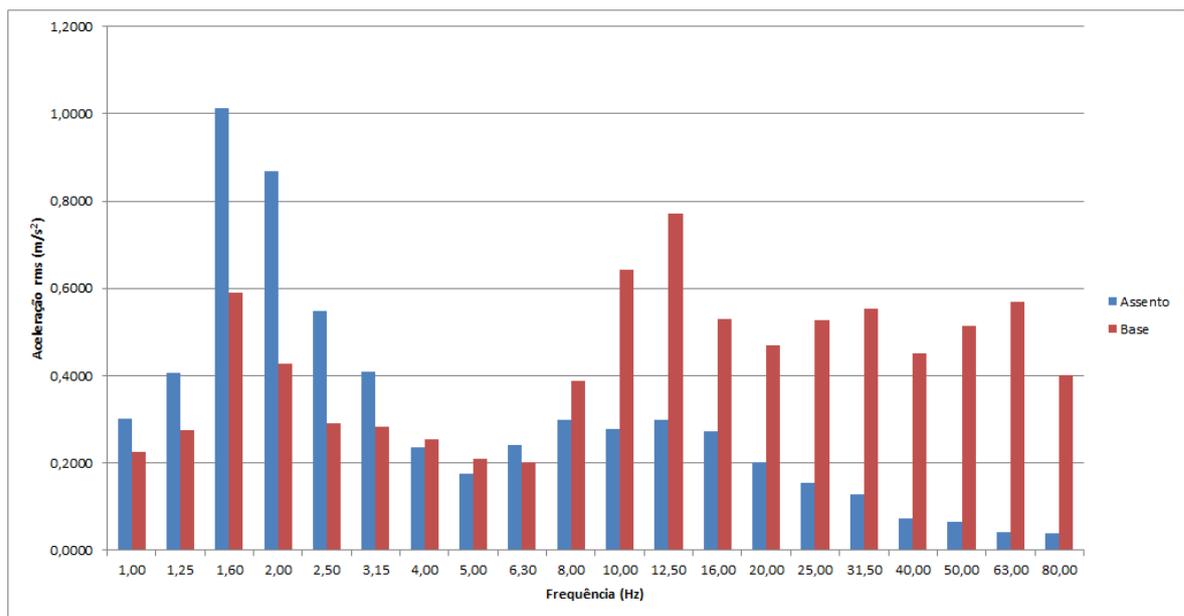


Figura A8 - Motorista 1 – Paralelepípedo 2

Fonte: Autor.

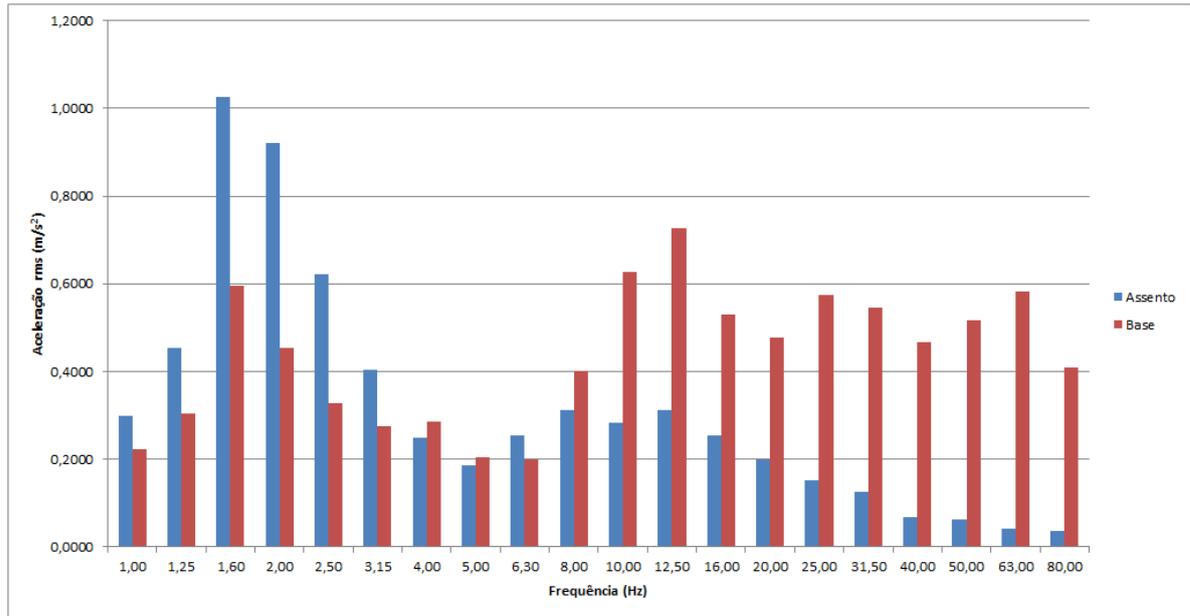


Figura A9 - Motorista 1 – Paralelepípedo 3

Fonte: Autor.

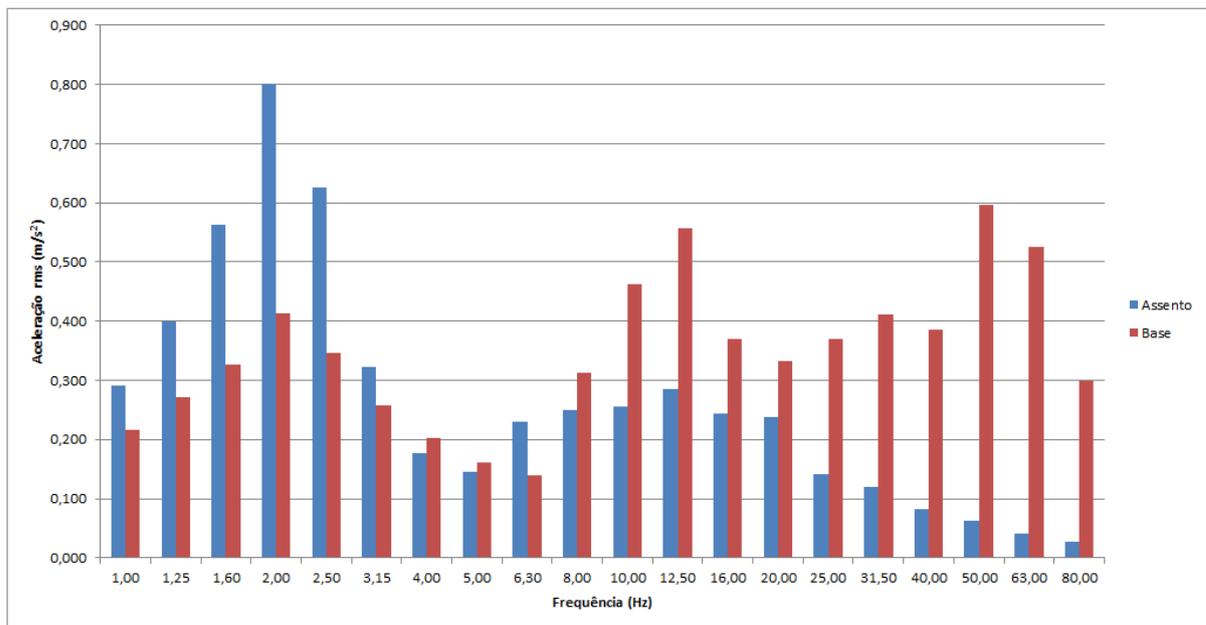


Figura A10 - Motorista 1 – Trecho Regular

Fonte: Autor.

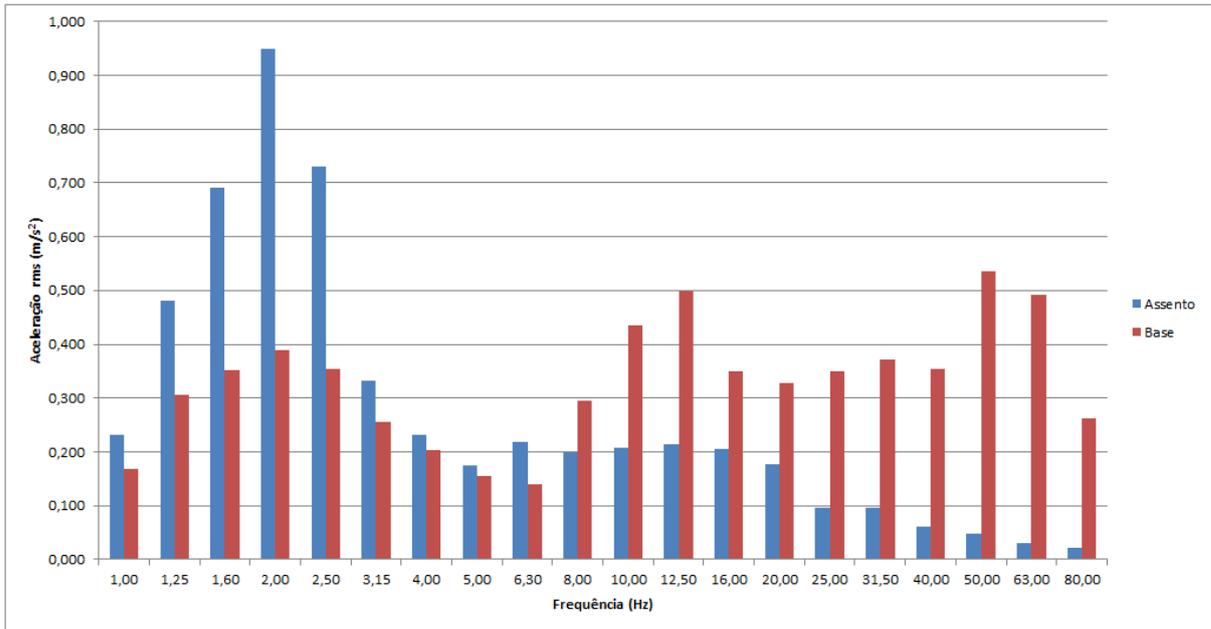


Figura A11 - Motorista 2 – Trecho Regular

Fonte: Autor.

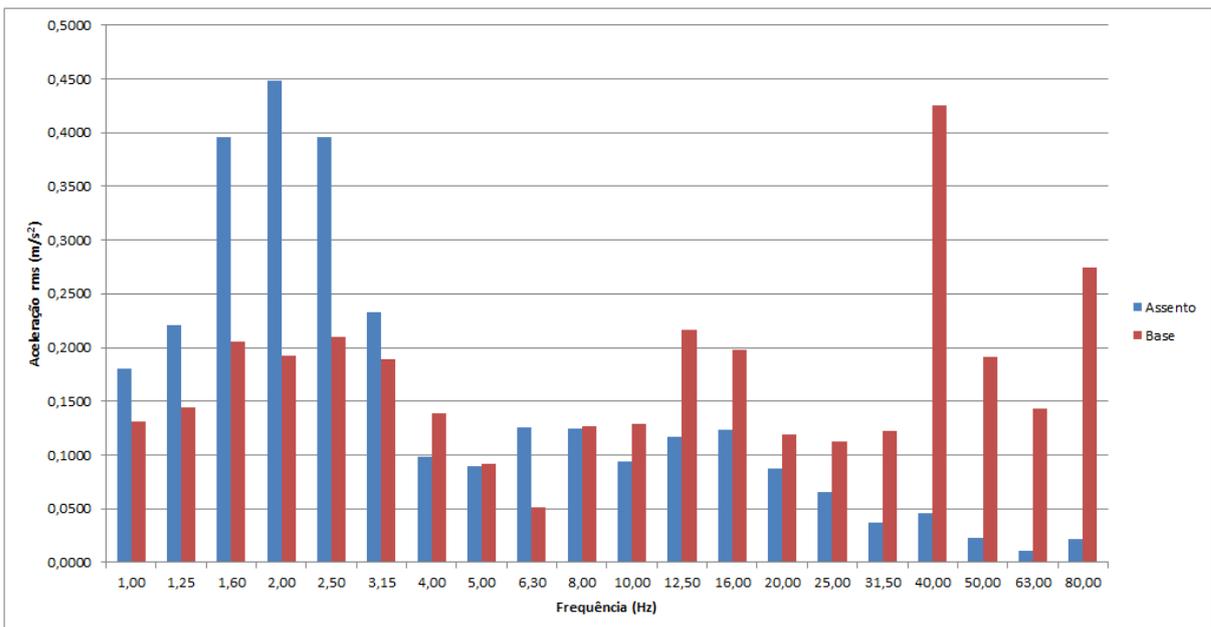


Figura A12 - Motorista 2 – Asfalto 1

Fonte: Autor.

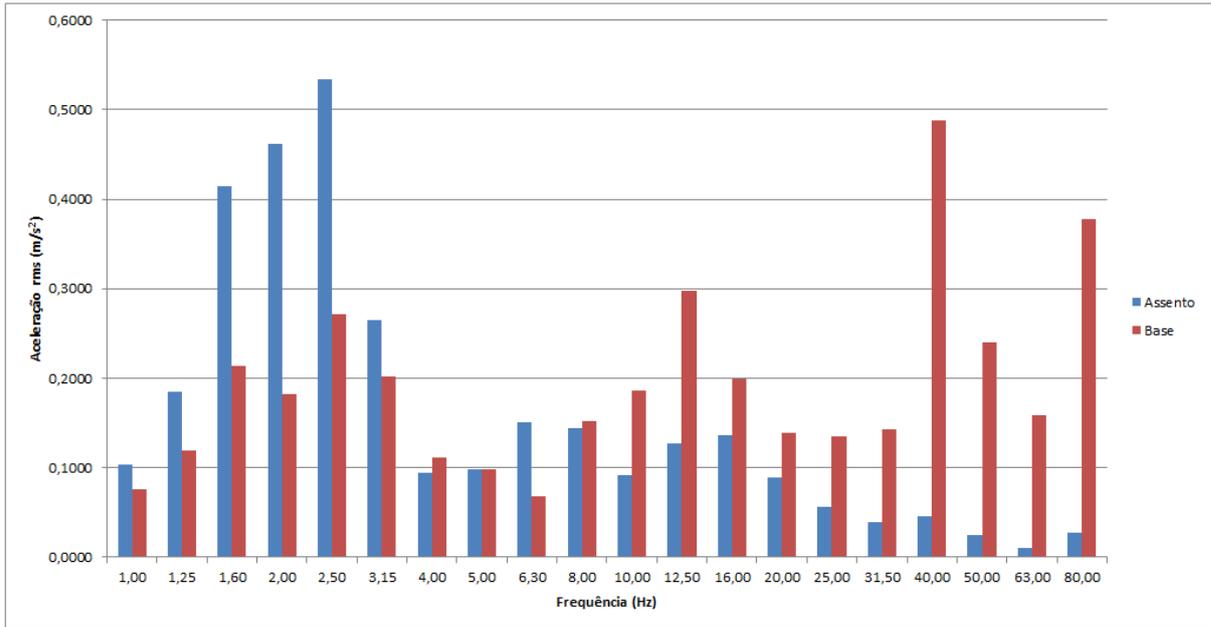


Figura A13 - Motorista 2 – Asfalto 2

Fonte: Autor.

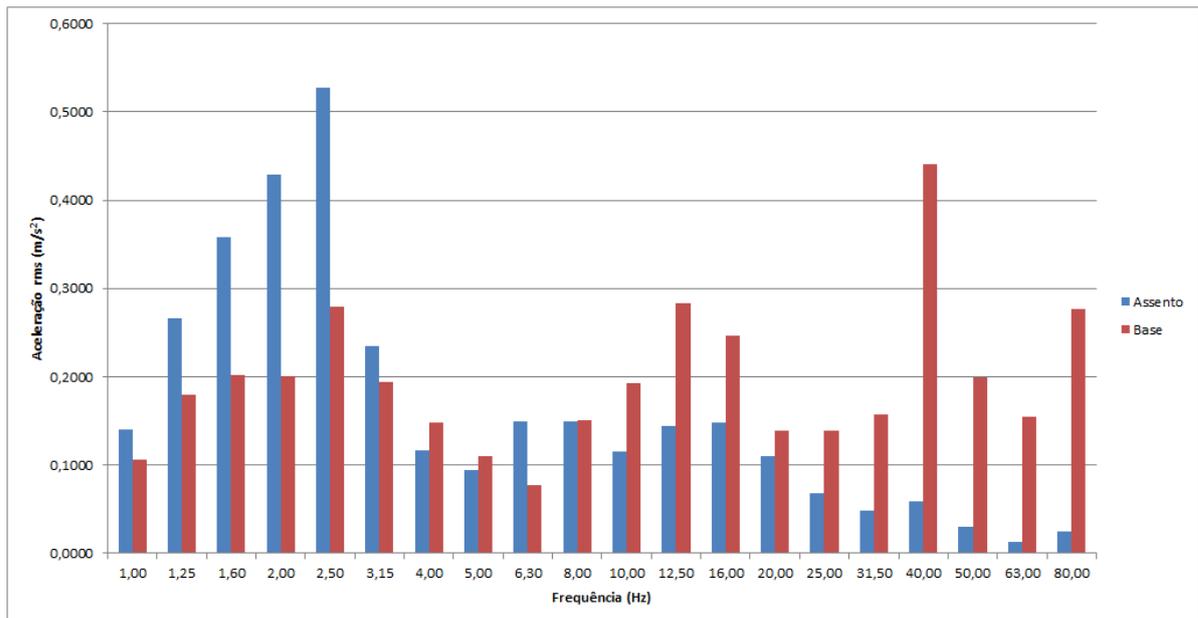


Figura A14 - Motorista 2 – Asfalto 3

Fonte: Autor.

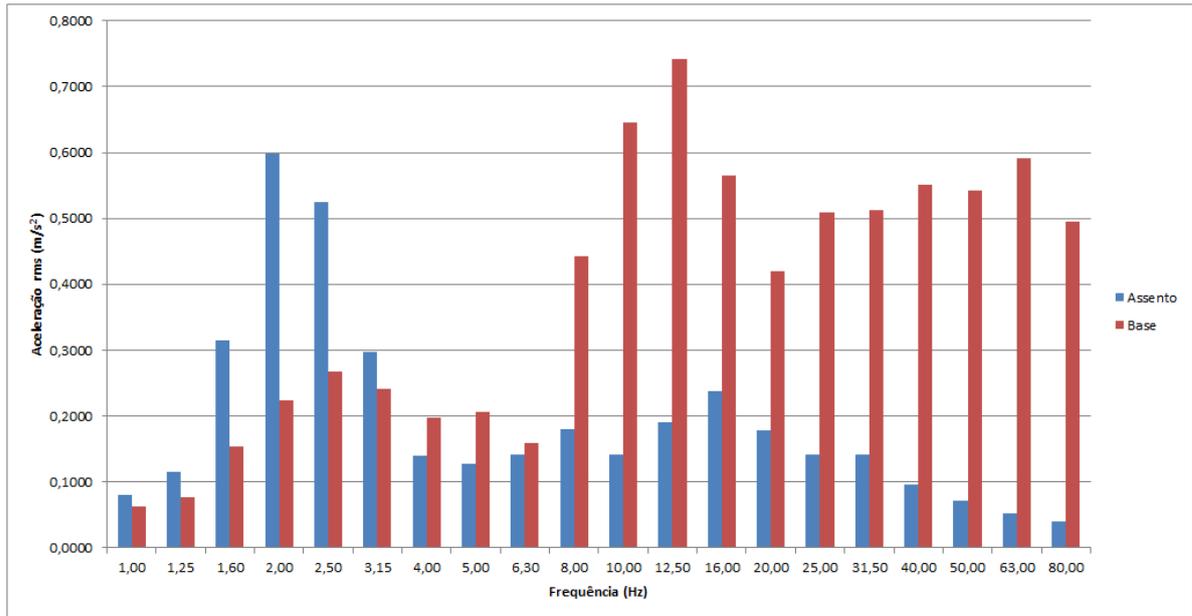


Figura A15 - Motorista 2 – Chão 1

Fonte: Autor.

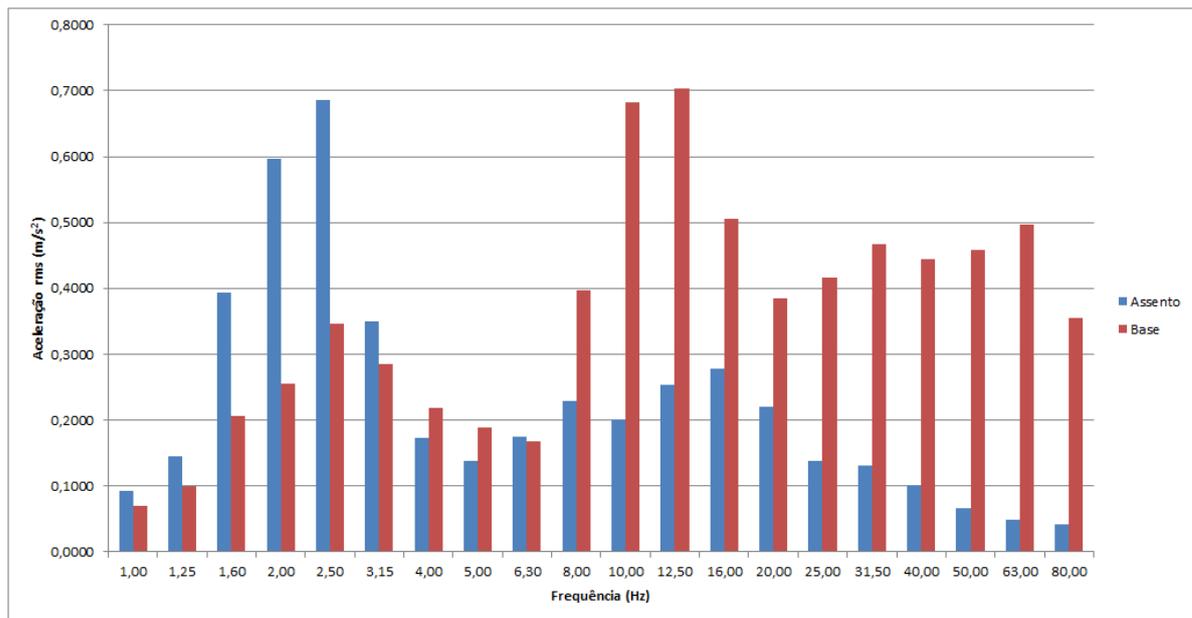


Figura A16 - Motorista 2 – Chão 2

Fonte: Autor.

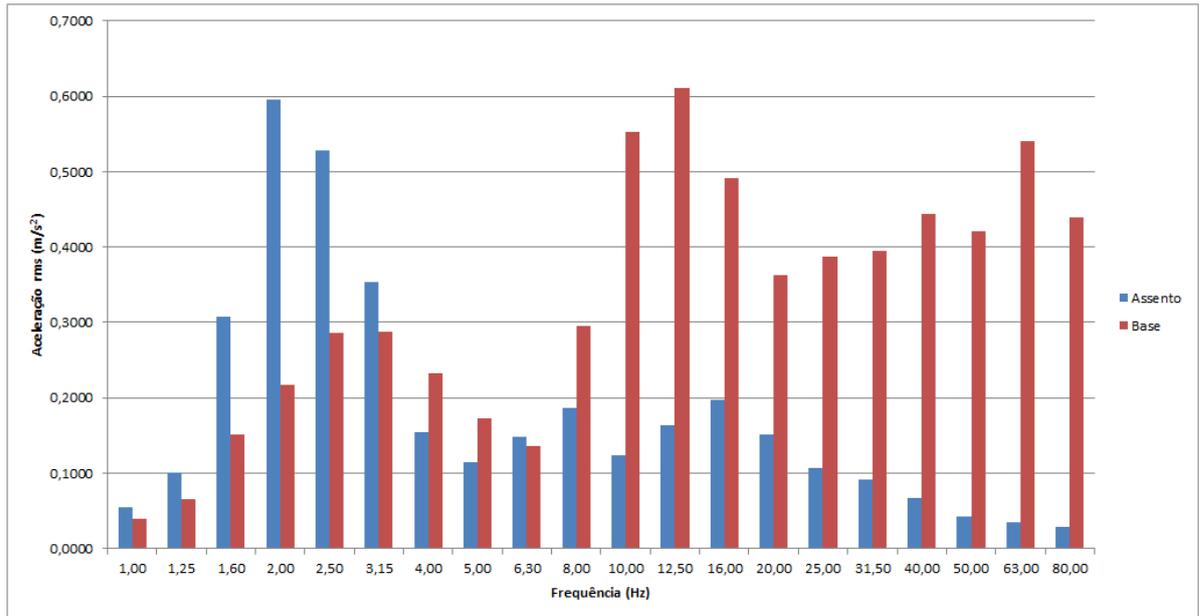


Figura A17 - Motorista 2 – Chão 3

Fonte: Autor.

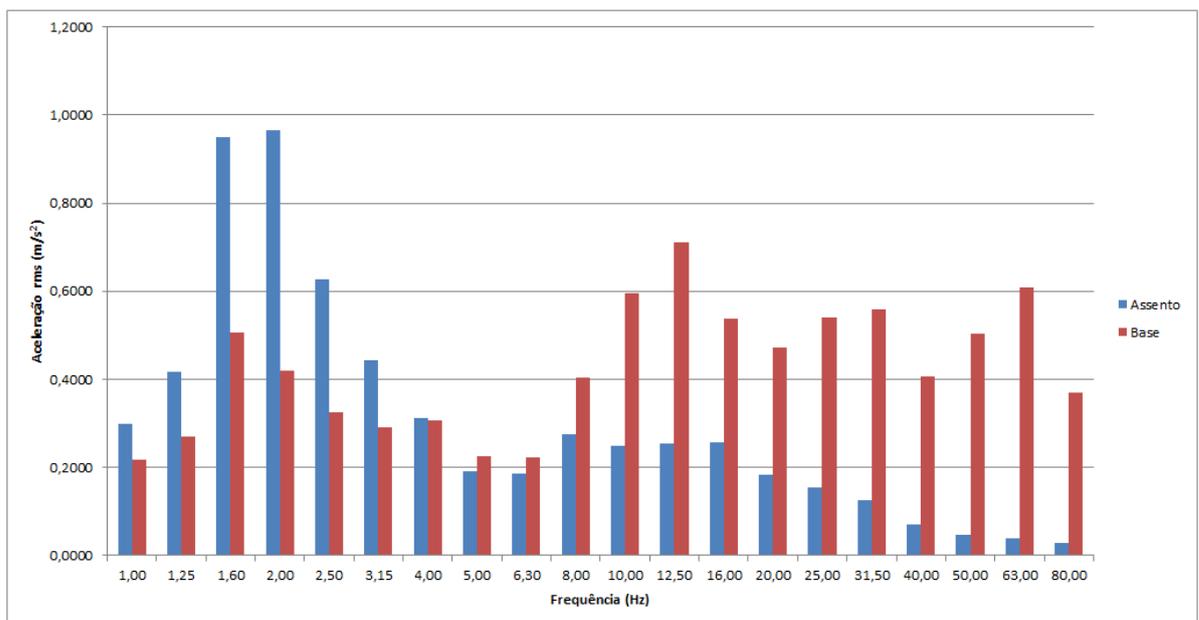


Figura A18 - Motorista 2 – Paralelepípedo 1

Fonte: Autor.

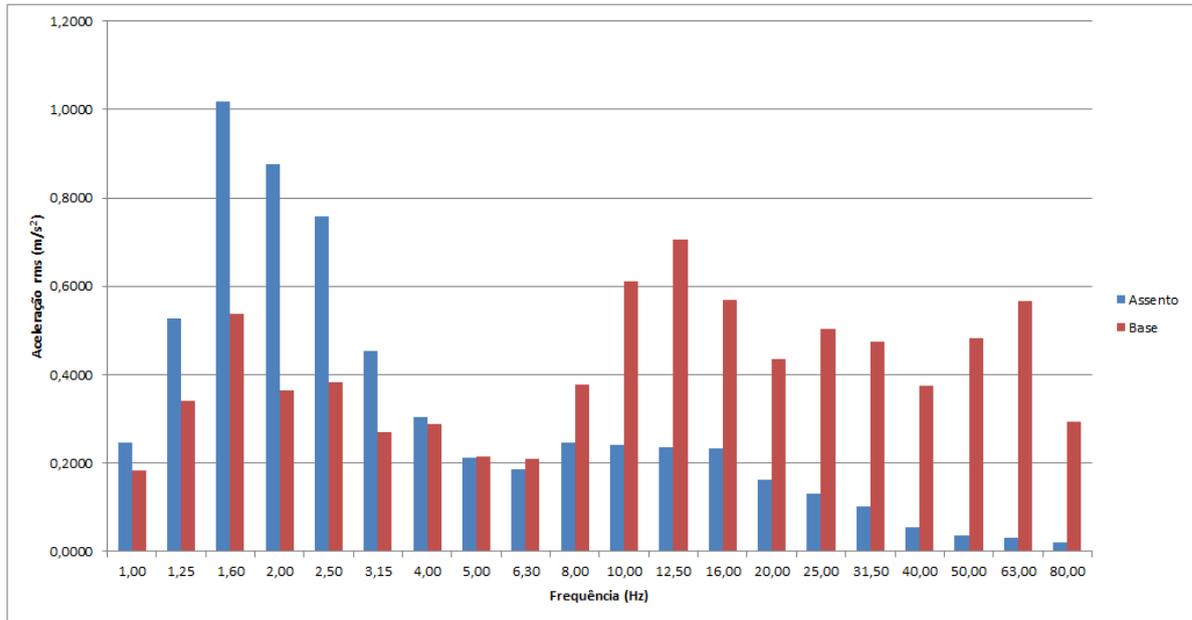


Figura A19 - Motorista 2 – Paralelepípedo 2

Fonte: Autor.

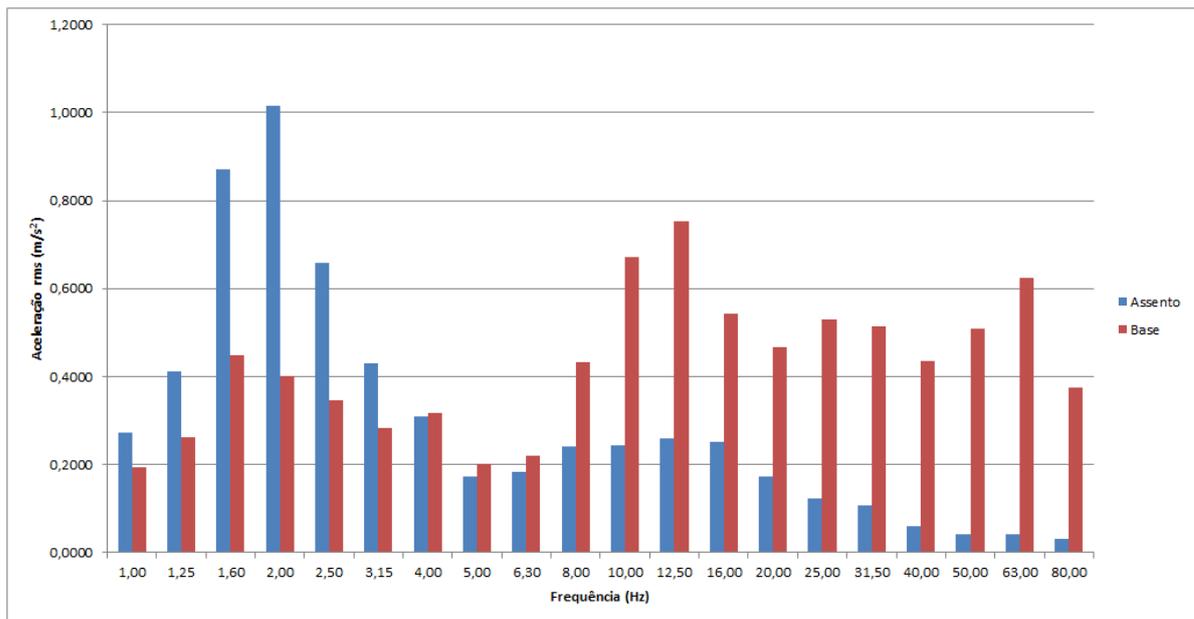


Figura A20 - Motorista 2 – Paralelepípedo 3

Fonte: Autor.

APÊNDICE B – Valores de aceleração obtidos em cada medição.

Tabela B1 – Aceleração rms medida no asfalto para motorista 1
Fonte: Autor

<i>Motorista 1 - Asfalto</i>						
<i>Frequência</i>	<i>Assento (m/s²)</i>			<i>Base (m/s²)</i>		
Hz	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>
1,00	0,200	0,184	0,112	0,150	0,142	0,087
1,25	0,265	0,211	0,159	0,176	0,145	0,109
1,60	0,476	0,348	0,324	0,273	0,202	0,189
2,00	0,400	0,374	0,435	0,187	0,186	0,217
2,50	0,700	0,425	0,450	0,344	0,235	0,256
3,15	0,347	0,207	0,263	0,265	0,172	0,191
4,00	0,109	0,115	0,095	0,147	0,153	0,136
5,00	0,111	0,100	0,097	0,120	0,089	0,103
6,30	0,200	0,163	0,190	0,080	0,046	0,062
8,00	0,237	0,174	0,185	0,165	0,165	0,153
10,00	0,142	0,113	0,118	0,178	0,134	0,201
12,50	0,147	0,130	0,163	0,252	0,226	0,365
16,00	0,126	0,119	0,138	0,221	0,190	0,241
20,00	0,092	0,079	0,096	0,140	0,120	0,165
25,00	0,070	0,068	0,074	0,127	0,114	0,138
31,50	0,045	0,043	0,052	0,140	0,123	0,138
40,00	0,042	0,065	0,053	0,489	0,435	0,474
50,00	0,026	0,035	0,034	0,223	0,200	0,233
63,00	0,012	0,013	0,014	0,153	0,130	0,144
80,00	0,022	0,026	0,027	0,336	0,292	0,346

Tabela B2 – Aceleração rms medida na estrada de chão para motorista 1
 Fonte: Autor

<i>Motorista 1 - Chão</i>						
<i>Frequência</i>	<i>Assento (m/s^2)</i>			<i>Base (m/s^2)</i>		
Hz	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>
1,00	0,096	0,065	0,072	0,075	0,049	0,057
1,25	0,161	0,088	0,115	0,114	0,060	0,078
1,60	0,393	0,313	0,334	0,229	0,175	0,196
2,00	0,695	0,630	0,584	0,349	0,298	0,282
2,50	0,529	0,630	0,511	0,289	0,339	0,281
3,15	0,357	0,315	0,314	0,269	0,228	0,253
4,00	0,173	0,130	0,174	0,246	0,194	0,233
5,00	0,170	0,136	0,169	0,226	0,185	0,215
6,30	0,261	0,241	0,239	0,193	0,157	0,180
8,00	0,267	0,297	0,258	0,431	0,343	0,337
10,00	0,242	0,211	0,241	0,585	0,546	0,617
12,50	0,274	0,239	0,236	0,604	0,635	0,633
16,00	0,246	0,214	0,232	0,433	0,458	0,479
20,00	0,186	0,152	0,170	0,328	0,329	0,333
25,00	0,126	0,114	0,118	0,348	0,362	0,391
31,50	0,113	0,089	0,099	0,383	0,386	0,416
40,00	0,081	0,063	0,069	0,404	0,443	0,429
50,00	0,057	0,049	0,057	0,375	0,395	0,411
63,00	0,043	0,038	0,043	0,430	0,476	0,469
80,00	0,054	0,034	0,035	0,379	0,423	0,393

Tabela B3 – Aceleração rms medida no paralelepípedo para motorista 1
 Fonte: Autor

<i>Motorista 1 - Paralelepípedo</i>						
<i>Frequência</i>	<i>Assento (m/s^2)</i>			<i>Base (m/s^2)</i>		
Hz	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>
1,00	0,312	0,302	0,298	0,363	0,227	0,222
1,25	0,404	0,405	0,455	0,366	0,275	0,305
1,60	0,969	1,014	1,025	0,617	0,591	0,594
2,00	0,899	0,869	0,920	0,508	0,428	0,455
2,50	0,671	0,549	0,621	0,391	0,292	0,327
3,15	0,456	0,410	0,405	0,333	0,282	0,276
4,00	0,224	0,235	0,250	0,305	0,255	0,285
5,00	0,170	0,175	0,187	0,250	0,210	0,205
6,30	0,241	0,241	0,255	0,244	0,201	0,199
8,00	0,307	0,300	0,313	0,423	0,388	0,401
10,00	0,253	0,279	0,283	0,613	0,644	0,628
12,50	0,290	0,300	0,313	0,717	0,772	0,726
16,00	0,253	0,272	0,254	0,555	0,530	0,530
20,00	0,182	0,200	0,199	0,437	0,470	0,478
25,00	0,149	0,154	0,153	0,526	0,526	0,575
31,50	0,123	0,129	0,125	0,535	0,553	0,547
40,00	0,070	0,073	0,067	0,453	0,451	0,467
50,00	0,057	0,065	0,063	0,513	0,514	0,518
63,00	0,038	0,042	0,041	0,578	0,571	0,582
80,00	0,031	0,038	0,036	0,389	0,402	0,410

Tabela B4 – Aceleração rms medida no asfalto para motorista 2
 Fonte: Autor

<i>Motorista 2 - Asfalto</i>						
<i>Frequência</i>	<i>Assento (m/s^2)</i>			<i>Base (m/s^2)</i>		
Hz	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>
1,00	0,180	0,103	0,140	0,131	0,076	0,106
1,25	0,220	0,185	0,266	0,144	0,119	0,179
1,60	0,396	0,415	0,358	0,206	0,213	0,202
2,00	0,448	0,461	0,429	0,193	0,182	0,201
2,50	0,396	0,534	0,527	0,210	0,271	0,279
3,15	0,233	0,265	0,235	0,189	0,201	0,194
4,00	0,098	0,095	0,116	0,139	0,111	0,148
5,00	0,089	0,098	0,094	0,092	0,098	0,110
6,30	0,126	0,150	0,149	0,051	0,068	0,078
8,00	0,125	0,145	0,150	0,126	0,152	0,151
10,00	0,094	0,091	0,115	0,129	0,186	0,193
12,50	0,117	0,127	0,145	0,217	0,298	0,283
16,00	0,123	0,137	0,148	0,197	0,200	0,246
20,00	0,087	0,089	0,109	0,120	0,139	0,139
25,00	0,066	0,057	0,068	0,112	0,135	0,139
31,50	0,037	0,040	0,049	0,122	0,142	0,157
40,00	0,046	0,046	0,059	0,426	0,488	0,441
50,00	0,023	0,025	0,030	0,191	0,239	0,199
63,00	0,010	0,010	0,012	0,143	0,159	0,155
80,00	0,022	0,027	0,025	0,274	0,378	0,276

Tabela B5 – Aceleração rms medida na estrada de chão para motorista 2
 Fonte: Autor

<i>Motorista 2 - Chão</i>						
<i>Frequência</i>	<i>Assento (m/s²)</i>			<i>Base (m/s²)</i>		
Hz	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>
1,00	0,081	0,092	0,055	0,062	0,070	0,039
1,25	0,114	0,146	0,101	0,076	0,099	0,066
1,60	0,315	0,393	0,308	0,153	0,205	0,151
2,00	0,599	0,597	0,596	0,225	0,254	0,217
2,50	0,524	0,685	0,528	0,267	0,347	0,287
3,15	0,297	0,350	0,353	0,242	0,286	0,288
4,00	0,140	0,173	0,154	0,197	0,218	0,232
5,00	0,127	0,138	0,115	0,207	0,188	0,173
6,30	0,142	0,174	0,149	0,159	0,167	0,137
8,00	0,181	0,229	0,187	0,442	0,398	0,296
10,00	0,141	0,202	0,124	0,646	0,682	0,552
12,50	0,191	0,253	0,164	0,742	0,704	0,611
16,00	0,238	0,279	0,197	0,565	0,506	0,491
20,00	0,178	0,220	0,152	0,419	0,385	0,362
25,00	0,141	0,137	0,107	0,509	0,416	0,388
31,50	0,142	0,131	0,092	0,512	0,467	0,394
40,00	0,097	0,101	0,068	0,552	0,444	0,445
50,00	0,071	0,067	0,042	0,543	0,458	0,420
63,00	0,052	0,049	0,034	0,591	0,496	0,540
80,00	0,040	0,041	0,029	0,494	0,355	0,439

Tabela B6 – Aceleração rms medida no paralelepípedo para motorista 2
 Fonte: Autor

<i>Motorista 2 - Paralelepípedo</i>						
<i>Frequência</i>	<i>Assento (m/s^2)</i>			<i>Base (m/s^2)</i>		
Hz	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>	<i>N = 1</i>	<i>N = 2</i>	<i>N = 3</i>
1,00	0,299	0,245	0,272	0,217	0,184	0,194
1,25	0,418	0,527	0,412	0,270	0,341	0,261
1,60	0,949	1,017	0,872	0,507	0,538	0,447
2,00	0,966	0,876	1,016	0,419	0,366	0,401
2,50	0,628	0,757	0,658	0,325	0,384	0,347
3,15	0,442	0,453	0,430	0,290	0,269	0,283
4,00	0,313	0,305	0,310	0,306	0,288	0,318
5,00	0,190	0,212	0,173	0,226	0,215	0,203
6,30	0,185	0,187	0,183	0,222	0,210	0,221
8,00	0,275	0,247	0,241	0,403	0,377	0,432
10,00	0,250	0,240	0,245	0,595	0,610	0,673
12,50	0,253	0,237	0,260	0,711	0,705	0,752
16,00	0,256	0,233	0,253	0,537	0,568	0,544
20,00	0,182	0,163	0,172	0,473	0,436	0,468
25,00	0,154	0,130	0,123	0,541	0,504	0,530
31,50	0,126	0,103	0,106	0,558	0,474	0,514
40,00	0,071	0,054	0,059	0,408	0,376	0,435
50,00	0,048	0,037	0,041	0,503	0,482	0,508
63,00	0,039	0,032	0,042	0,610	0,566	0,624
80,00	0,028	0,021	0,032	0,371	0,292	0,376

Tabela B7 – Aceleração rms medida no trecho regular.
 Fonte: Autor

<i>Trecho Regular</i>				
<i>Frequência</i>	<i>Assento (m/s²)</i>		<i>Base (m/s²)</i>	
Hz	<i>Motorista 1</i>	<i>Motorista 2</i>	<i>Motorista 1</i>	<i>Motorista 2</i>
1,00	0,291	0,232	0,217	0,169
1,25	0,399	0,482	0,271	0,307
1,60	0,562	0,692	0,327	0,351
2,00	0,802	0,950	0,413	0,388
2,50	0,625	0,729	0,347	0,355
3,15	0,323	0,332	0,257	0,255
4,00	0,177	0,231	0,203	0,204
5,00	0,145	0,175	0,162	0,156
6,30	0,230	0,219	0,139	0,140
8,00	0,250	0,199	0,312	0,296
10,00	0,256	0,208	0,462	0,435
12,50	0,286	0,215	0,558	0,498
16,00	0,243	0,205	0,369	0,349
20,00	0,239	0,176	0,333	0,328
25,00	0,141	0,096	0,369	0,350
31,50	0,120	0,095	0,412	0,372
40,00	0,082	0,061	0,385	0,353
50,00	0,063	0,048	0,596	0,536
63,00	0,041	0,030	0,525	0,492
80,00	0,027	0,021	0,299	0,263