

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DO CONFORTO QUANTO À VIBRAÇÃO ATUANTE EM CAMINHÕES DE  
CARGA

por

José Gilberto Picoral Filho

Monografia apresentada ao  
Departamento de Engenharia Mecânica da  
Escola de Engenharia da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, como parte  
dos requisitos para obtenção do diploma de  
Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, junho de 2018.

ANÁLISE DO CONFORTO QUANTO À VIBRAÇÃO ATUANTE EM CAMINHÕES DE  
CARGA

por

José Gilberto Picoral Filho

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Thamy Cristina Hayashi  
Coordenadora do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Coorientador: Eng<sup>o</sup> Mário Fedatto Neto

Comissão de Avaliação:

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Ignácio Iturrioz

Prof. Edson Hikaro Aseka

Porto Alegre, 11 de junho de 2018.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar capacidade intelectual e emocional para cursar e, finalmente, chegar à conclusão deste curso.

Agradeço aos meus pais e ao senhor Joaquim Uemura, por todo carinho, apoio e incentivo.

Agradeço aos Professores Juan Pablo Raggio, Herbert Martins Gomes, e ao meu Coorientador Mário Fedatto Neto pela grande ajuda e suporte na orientação no trabalho de conclusão do curso.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por ser de alta qualidade, disponibilizar de bons professores, estrutura para aprendizado e uma lição para a vida inteira.

PICORAL FILHO, J. G. **Análise do Conforto Quanto à Vibração Atuante em Caminhões de Carga**. 2018. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

## RESUMO

O trabalho em questão visa inferir, mediante análise da exposição ocupacional, a vibração atuante em motoristas de caminhões de carga, averiguando o grau de conforto ao qual estão sujeitos. Para isso foram avaliados os níveis de vibração de corpo inteiro em caminhões de diferentes modelos e capacidades, submetidos a algumas velocidades e tipos de pavimento. A obtenção dos dados necessários à análise vibracional foi mediante a utilização do equipamento medidor e analisador de vibração portátil equipado com acelerômetros triaxiais. Com a amostragem representativa do tempo de exposição de uma jornada de trabalho com 8 horas, avaliou-se a exposição diária à vibração  $A_{(8)}$  e comparou-se com os limites de exposição ocupacional indicados pela norma NR-15, tendo como metodologia para determinação dos valores relacionados à vibração de corpo humano, assim como conforto e saúde humana, aquela oriunda da ISO 2631. Por meio de análise comprovou-se a existência da influência do tipo de pavimento, velocidade e categoria dos veículos na vibração interna dos mesmos. Verifica-se, então, que o grau de conforto é mais elevado para veículos com sistemas pneumáticos de suspensão, e relativo as condições de trabalho nota-se o mesmo para velocidades mais baixas e pavimentos com menor irregularidade longitudinal. No que se refere a exposição humana à vibração, os veículos com as respectivas situações de trabalho apresentaram cenário em que os limites de exposição permitidos pela norma são ultrapassados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vibração de Corpo Inteiro, Caminhões, ISO 2631, NR-15.

PICORAL FILHO, J. G. **Analysis of the Comfort Regarding the Vibration on Munk Trucks.** 2018.15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

## ABSTRACT

The work in question aims to infer, through analysis of occupational exposure, the vibration acting on truck drivers, analyzing the degree of comfort to which they are subject. In order to do so, we evaluated the levels of whole body vibration in trucks of different models and capacities, submitted to some speeds and types of pavement. The necessary data for the vibrational analysis was obtained through the use of portable vibration measuring equipment and analyzer equipped with tri-axial accelerometers. With representative sampling of the exposure time of an 8-hour working day, the daily exposure to vibration  $A_{(8)}$  was evaluated and compared to the occupational exposure limits indicated by the NR-15 standard, with methodology for determining the values related to whole body vibration, as well as comfort and human health, that originated from ISO 2631. By means of analysis, the existence of influence of pavement type, speed and category of the vehicles in the internal vibration of the themselves. It can be seen that the degree of comfort is higher for vehicles with pneumatic suspension systems, and for working conditions the same is observed for lower speeds and pavements with less longitudinal irregularity. Regarding human exposure to vibration, vehicles with their working situations presented a scenario in which the limits of exposure allowed by the standard are exceeded.

**KEYWORDS:** Whole Body Vibration, Trucks, ISO 2631, NR-15.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Sistema Biomecânico simplificado do corpo humano. ....	3
Figura 3.2 - Curva de ponderação por frequência $W_k$ e $W_d$ para vibração de corpo inteiro. ....	6
Figura 4.1 – Analisador e medidor portátil comercial Quest VI-400Pro.....	7
Figura 4.2 – Instrumentação realizada em um dos objetos de análise do trabalho. ....	9
Figura 4.3 – Apresentação das regiões asfálticas, acima, e cobertas com paralelepípedo, abaixo. ....	9
Figura 5.1 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, nos trechos em que variou-se a velocidade, medido no assento do motorista no veículo Ford Cargo 2422. ....	12
Figura 5.2 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho predominantemente asfaltado, medido no assento do motorista no veículo Scania R124. ....	13
Figura A.1 - Certificado de Calibração do Equipamento VI-400 PRO. ....	16
Pesquisa CNT de Rodovias por tipo de variável 2016.....	16
Figura A.2 – Evolução da frota de veículos desde o ano de 2001 a 2016, segundo anuário da CNT.....	17
Figura A.3 - Vista lateral do veículo Volkswagen Constelattion 24.280.....	18
Figura A.4 - Vista lateral do veículo Ford Cargo 2422. ....	18
Figura A.5 - Vista lateral do veículo Scania R124.....	18
Figura A.6– Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções nos trechos em que variou-se a velocidade para o veículo Scania R124.....	19
Figura A.7– Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções nos trechos em que variou-se a velocidade para o veículo Volkswagen Constelattion 24.280. ....	19
Figura A.8 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho com ruas predominantemente asfaltadas, medido no assento do motorista no veículo Ford Cargo 2422. ....	19
Figura A.9 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho com ruas asfaltadas e com ruas com paralelepípedo, medido no assento do motorista no veículo Ford Cargo 2422. ....	20
Figura A.10 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho com ruas predominantemente asfaltadas, medido no assento do motorista no veículo Volkswagen Constelattion 24.280. ....	20
Figura A.11 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho com ruas asfaltadas e com ruas com paralelepípedo, medido no assento do motorista no veículo Volkswagen Constelattion 24.280. ....	20
Figura A.12 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho com ruas asfaltadas e com ruas com paralelepípedo, medido no assento do motorista no veículo Scania R124. ....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Estratificação de valores expostos pela norma ISO 2631-1, 1997. ....	10
Tabela 5.2 – Parâmetros obtidos através do processamento dos dados experimentais oriundos da medição no assento dos veículos para as acelerações nas 3 direções. ....	11
Tabela 5.3 – Parâmetros obtidos através do processamento dos dados experimentais. ....	12
Tabela A.1 - Pesquisa realizada pela CNT relativa a qualidade das rodovias em 2015.....	16
Tabela A.2 - Pesquisa realizada pela CNT relativa ao ano de fabricação dos veículos de transporte de carga circulantes no país em 2015. ....	17
Tabela A.3 - Pesquisa realizada pela CNT relativa ao tempo médio de profissão dos motoristas de transporte de carga em 2015.....	17
Tabela A.4 – Respectivos trechos de medição, contendo o logradouro, distância percorrida e tipo de pavimento. ....	19

ÍNDICE	Pág.
AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	vii
ÍNDICE .....	viii
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Motivação.....	1
2 Objetivos .....	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	2
3.1 Vibração no Corpo Humano .....	2
3.2 Efeitos da vibração no corpo humano .....	3
3.3 VCI em caminhões.....	3
3.4 Normas relacionadas à análise de VCI.....	4
3.5 Metodologia para avaliação de VCI.....	5
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	7
4.1 Procedimentos e equipamentos utilizados .....	7
4.2 Modelos dos caminhões utilizados .....	8
4.2.1 Caminhão Trator Scania R124.....	8
4.2.2 Caminhão Munck Ford Cargo 2422.....	8
4.2.3 Caminhão Munck Volkswagen Constellation 24.280 .....	8
4.3 Instrumentação dos caminhões.....	8
4.4 Tipos de pavimentos e trechos avaliados.....	9
5 RESULTADOS .....	10
5.1 Avaliação sobre conforto e risco à saúde do condutor .....	10
5.2 Resultados para o assento com variação na velocidade limite.....	10
5.3 Resultados para o assento com diferentes tipos de pavimentação .....	12
6 CONCLUSÕES .....	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
ANEXO .....	16
APÊNDICE .....	19



## 1 INTRODUÇÃO

Com a mecanização do trabalho e a disseminação de veículos automotores, a exposição ocupacional à vibração tornou-se um fator de risco à saúde pública. Segundo Figueredo *et al*, 2016, a exposição à vibração de corpo inteiro (VCI) pode causar desconforto e alterações no corpo humano. As primeiras normas sobre exposição à VCI remetem a década de 1960, porém os estudos relacionados aos danos à saúde por tal exposição intensificaram-se somente nos últimos anos.

Diversas classes de trabalhadores sofrem diariamente com os efeitos da exposição ocupacional às vibrações de corpo inteiro (VCI), segundo Bovenzi e Zandini, 1992, os problemas ocupacionais oriundos da exposição à VCI mais recorrentemente encontrados na literatura são os efeitos diversos na coluna vertebral, como: lombalgia, degeneração precoce da região lombar, e hérnia de disco. Apesar dos problemas de saúde relativos à influência da vibração no organismo serem conhecidos, Griffin, 1990, demonstra que as consequências no corpo humano devido a efeitos vibratórios não possuem previsibilidade trivial e podem não ser únicas.

Pope, 1996, afirma que o maior fator de risco entre motoristas profissionais pode ser a vibração. Segundo Lida, 1990, as vibrações em frequências na faixa de 1 a 80Hz são particularmente danosas ao organismo, sendo essa, de acordo com Vendrame, 2005, a banda de frequência a qual os motoristas estão sujeitos.

Os motoristas de caminhão chegam a dirigir por 10 mil quilômetros mensais, passando cerca de 11,3 horas diárias ao volante segundo a pesquisa realizada em 2015 pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) sobre o perfil do caminhoneiro. Tais profissionais estão muito susceptíveis a problemas originados pela exposição à VCI. Segundo foi observado por [Myamoto *et al.*, 2000 e Riihimaki *et al.*, 1994], os caminhoneiros, dentre as diversas categorias de motoristas, podem ser considerados aqueles mais sujeitos à ocorrência da lombalgia ocupacional. Relativo as causas dessa doença Riihimaki *et al.*, 1994, afirma que, vibrações, choques e prolongada manutenção da posição sentada são fatores que potencialmente prejudicam a coluna lombar. Esta correlação entre exposição à vibração e lombalgia foi observado por diversos autores [Hoogendoorn *et al.*, 1999; Fernandes, 2002; Barreira, 1994]. Ainda a respeito dos problemas ocasionados pela exposição ocupacional à vibração, Fernandes, 2002 e Krause *et. al*, 1997, declararam: "indivíduos que trabalham na direção de veículos motorizados apresentam risco três vezes maior de terem hérnia de disco do que aqueles indivíduos com outras atividades ocupacionais". Tendo em vista o ambiente ao qual os motoristas estão diariamente expostos, no ano de 2015 em notícia publicada pelo Tribunal Superior do Trabalho (TST), fica deferida mediante alegação de prejuízo físico relativo a exposição às vibrações, sobre certas circunstâncias a sentença de adicional insalubridade para os caminhoneiros.

Para haver estabelecimento e manutenção do bem-estar físico dos trabalhadores do setor de transportes durante o desempenho do ofício, diversos fatores devem ser levados em consideração, sendo um de grande relevância a qualidade dos veículos, onde o conforto é um dos parâmetros mais importantes para inferir o critério em questão de acordo com Maia, 2002. Este trabalho propõe um estudo relativo a intensidade e frequência das vibrações presentes em cabines de caminhões de diferentes categorias e capacidades, subordinados a diversas velocidades e tipos de pavimentação (paralelepípedo e asfalto), o estudo também objetiva analisar a correlação existente entre as vibrações, a que os motoristas estão sujeitos, e o grau de conforto oferecido pelos veículos. Assim como, busca averiguar se a exposição diária à vibração traz os motoristas à condições de insalubridade, definidas pelas normas vigentes.

### 1.1 Motivação

Segundo estudo elaborado no ano de 2016 pela Confederação Nacional do Transportes (CNT), apenas 51,7% da malha rodoviária apresenta-se em condições ótimas ou boas ao tráfego, sendo que os outros 48,3% distribuem-se em regular, ruim e péssimas condições, tais informações encontram-se na Tabela A.1, Anexo A. Em

contrapartida uma pesquisa relativa ao perfil dos caminhoneiros realizada em 2016 pelo mesmo órgão demonstrou que a péssima qualidade de trabalho dos motoristas de transporte de carga, conforme pode ser observado na Tabela A.2, em anexo, é agravada pelo perfil da frota, a qual possui veículos com tempo médio de trabalho de 16,9 anos para trabalhadores autônomos. Outro agravante é o tempo médio de exercício da atividade de caminhoneiro, 19,2 anos para trabalhadores autônomos, visualizado na Tabela A.3 anexada ao final do trabalho, assim como pela quantidade de horas trabalhadas diariamente pelos motoristas do setor, onde 58,9% dos motoristas assumem não cumprir o tempo de descanso exigido dos caminhoneiros de 11 horas pela Lei nº 13.103/2015. Apesar das condições desfavoráveis a que o setor de transportes de carga está submetido, a frota de caminhões de acordo com o anuário de 2017 da CNT teve aumento de 1,5 milhão para 2,7 milhões, ou seja, um aumento de 80% do ano de 2001 para o ano de 2016 conforme indicado na Figura A.2 anexada, contabilizando no ano de 2017 um número de 374.029 transportadores de carga regularmente inscritos (RNTRC) somente na categoria de autônomos. Desta forma o monitoramento das condições de trabalho em veículos de transporte de carga é uma questão de saúde pública, visto o número de trabalhadores do setor e as circunstâncias as quais estão submetidos. O trabalho irá estudar o fenômeno da vibração, sobre motoristas de caminhões, que é um dos 6 fatores que apresentam risco à saúde e segurança dos trabalhadores do setor de transporte segundo Mendes, 1988.

## 2 Objetivos

Este trabalho objetiva estudar a intensidade e frequência das vibrações presentes em cabines de caminhões em situações de trabalho, assim como analisar a correlação que as mesmas têm com grau de conforto a que o motorista dos veículos de carga está sujeito. Também visa equiparar os níveis de vibração aos quais os motoristas estão expostos com sua correlata norma, visando inferir se as condições de trabalho dos mesmos são confortáveis, ou se as mesmas apresentam elevado grau de desconforto, e conseqüentemente situação insalubre.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Vibração no Corpo Humano

No trabalho aqui apresentado, o foco está na maneira em que o corpo humano responde a vibração, dessa forma é importante definir, também, os critérios relacionados aos seres humanos e suas atividades que são fundamentalmente afetados pelos fenômenos vibratórios, sendo eles, segundo Prasad, 1995: eficiência do trabalho, saúde ou segurança, e conforto.

De acordo com Sell, 2002, os fatores preponderantes para a análise dos efeitos que as vibrações têm sobre os seres humanos são: frequência da oscilação, aceleração da oscilação, tempo de exposição à vibração, direção da vibração, e ponto de contato com o corpo humano. Um parâmetro não observado por este autor supracitado, porém de grande relevância para o assunto, é o valor *rms* (*root mean square*) de um sinal, sendo esse um parâmetro relacionado à amplitude do fenômeno vibratório. Tomando-se um intervalo de tempo  $T_1 \leq t \leq T_2$ , o valor *rms* para uma função variável contínua  $a(t)$  da aceleração contida nesse intervalo é representado pela Equação (2.1).

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [a(t)]^2 dt} \quad (2.1)$$

Fernandes, 2000, aborda que o valor *rms* é relativo à média da energia contida no movimento oscilatório, indicando assim o potencial destrutivo da vibração. E conforme Griffin, 1990, é devido essa energia presente na onda que o movimento oscilatório ocasiona danos aos tecidos humanos.

### 3.2 Efeitos da vibração no corpo humano

Segundo Vieira, 1998, o corpo humano pode ser considerado como um sistema mecânico complexo, de diversos graus de liberdade. Ueta, 2015, declara que em um sistema com múltiplos graus de liberdade, sabe-se que existirão múltiplas frequências naturais ou pólos. Assim sendo o organismo humano é sujeito a efeitos de ressonância em diversas frequências. Conforme descrito por Balbinot, 2001, o corpo humano é uma sofisticada estrutura biomecânica, e a sensibilidade à vibração, pode envolver diversos fatores, tais como: postura, tensão muscular, frequência, amplitude e direção da vibração, duração e dose relativas a exposição.

Um modelo biomecânico apresentado por Chaffin *et al*, 1999, indica que a ressonância acontece em diferentes frequências para diferentes regiões do sistema, sendo observado que a exposição às vibrações verticais na banda de 5 a 10 Hz, causam ressonância no sistema tórax-abdômen, e vibrações na banda de 20 a 30 Hz promovem ressonância no sistema cabeça-pescoço-ombros. Ainda respectivo a resposta do corpo humano aos efeitos vibratórios, Panjabi *et al*, 1986, indicou que na faixa de 4 a 5 Hz a transmissibilidade na coluna vertebral é maior, e que diversos veículos motorizados são fontes potenciais de risco à coluna vertebral por apresentarem frequências na faixa em questão. Na Figura 3.1, está esquematizado, como um sistema massa-mola-amortecedor, o corpo humano com diferentes regiões.

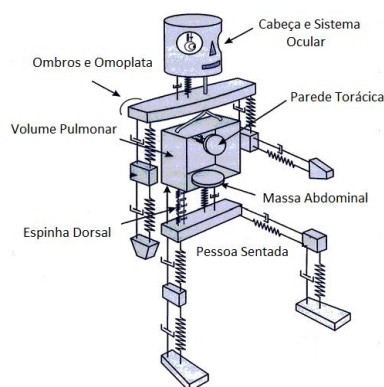


Figura 3.1 - Sistema Biomecânico simplificado do corpo humano.  
(Fonte: adaptado de Fedatto Neto, 2016)

As vibrações relativas ao corpo humano possuem duas classificações, sendo elas Vibração no Corpo Inteiro (VCI) e Vibração Mão Braço (VMB). Estudo produzido por Ferreira, 2015, indica que as VCI possuem um espectro de frequência entre 1 e 80 Hz, tendo como banda de ressonância 4 a 8 Hz para direção vertical, e de 1 a 2 Hz para as direções laterais e horizontais, como indicado por Wasserman, 1987. Sua transmissão ocorre a partir de superfícies de suporte como: pés e mãos para uma pessoa em pé, costas, pés e as nádegas para uma pessoa sentada. De acordo com Gupta *et al.*, 1993, as VMB são transmitidas mediante as mãos e braços, sua atuação ocorre em uma banda de frequência bem maior em comparação a faixa relativa as VCI, entre 6,3 Hz e 1250 Hz, entrando em ressonância ao redor da faixa de frequência de 100 a 250 Hz para qualquer direção apresentada pela ISO 5349 (2001).

Ambas vibrações são relevantes para o estudo de como o corpo humano reage aos fenômenos mecânicos oscilatórios, porém para este trabalho apenas a Vibração de Corpo Inteiro será abordada.

### 3.3 VCI em caminhões

O tema de vibrações em caminhões tem sido o foco de diversos trabalhos no passado na literatura relativa a Vibrações de Corpo Inteiro (VCI). Além do conforto, avaliações quanto ao nível de segurança da vibração também tem sido investigado inclusive com propostas de novos tipos de assentos. Para estudo de conforto veicular é importante definir como está relacionada a incomodidade humana perante a

vibração, porém de acordo com a literatura, estabelecer quantitativamente a relação é difícil, respectivo a isso pode-se citar Gama e Paneiro, 2006, "a incomodidade humana perante determinado fenômeno vibratório consiste em algo difícil de quantificar e traduz a reação do desconforto que a maioria das pessoas experimentam perante tal estímulo".

Moraes *et al.*, 2016, apresenta diversos trabalhos contendo a relação entre distúrbios musculoesqueléticos, principalmente a prevalência de sintomas de dores lombares, e a VCI em motoristas de caminhões. Os estudos indicam que existem informações suficientes para que se conclua na diminuição do risco das distúrbios acima citadas conforme ocorra a redução de exposição à vibração de corpo inteiro para os níveis mais baixos. Contudo, ainda assim, indicam que visando corroborar a análise de associação causa-efeito conduzida por eles ao analisarem os trabalhos, estudos mais detalhados necessitam ser encorajados.

Panduragan *et al.*, 2016, decidiu avaliar a redução da transmissibilidade da vibração em assentos de motoristas de caminhão. Utilizou-se modelos de um e dois graus de liberdade para simular a condição do assento e do acolchoado de forma a simular a transmissibilidade entre piso-assento. Parâmetros de rigidez e amortecimento são avaliados de forma que a aceleração *rms* e o valor da dose de vibração são reduzidos em 46%, e com o uso de um assento flexível, a redução da vibração pode ser aumentada para 63%.

Du *et al.*, 2018, realizaram um importante estudo avaliando a VCI em 5 motoristas de caminhões, utilizando suspensões de assento passivas e ativas, correlacionando a exposição e níveis medidos de VCI com um questionário de desconforto e atividades de avaliação do tempo de reação. Correlações fortes foram encontradas, indicando que o uso de suspensões ativas reduz de fato os níveis de vibração (33% em relação às suspensões passivas) assim como no nível de atenção e tempo de reação do motorista.

Já Kim *et al.*, 2015, estuda a exposição à VCI de motoristas de longos trajetos através de um estudo randomizado com 98 profissionais numa jornada regular de 8-12h. Valores de aceleração resultante da exposição normalizada  $A_{(8)}$  e de dose de vibração (VDV) são avaliados, e registradas informações como estradas trafegadas, ano do caminhão, tipo de assento, etc. O VDV calculado, segundo a Diretiva Europeia, esteve acima do permitido de 9,1 m/s<sup>1,75</sup>. Quando comparou caminhões de dois fabricantes principais, um dos modelos apresentou maior valor de  $A_{(8)}$  na vertical que se traduziu em notas de avaliação para risco de dor na região lombar da coluna, indicando que há diferenças de performance entre tipos de assentos.

Em 1998, Maeda e Morioka apresentam um estudo sobre a medição de VCI em motoristas japoneses de caminhões utilizados para coleta de lixo. O estudo de campo utilizou: três caminhões sob diferentes cargas, diferentes superfícies de estrada e vibrações medidas na interface do assento com o motorista. As vibrações foram comparadas com as diretrizes de risco para a saúde de acordo com o Anexo B da ISO 2631-1 (1997). As conclusões deste estudo indicaram que os motoristas japoneses de caminhões de coleta de resíduos não deveriam operar por mais que 2,4h em um dia, em condições atuais de jornada de trabalho.

### 3.4 Normas relacionadas à análise de VCI

Objetivando-se assegurar confiabilidade quanto ao estudo de vibrações, de forma necessária recorre-se à normas, nacionais e internacionais, que padronizam a obtenção dos dados, e a metodologia necessária ao estudo. O objetivo principal da normatização é a definição da metodologia necessária para avaliar a saúde e conforto humanos perante movimentos oscilatórios.

Stayner, 2001, afirma que as primeiras normas sobre exposição humana à vibração (norma alemã VDI 2057) teve como base os primeiros experimentos, ocorridos entre 1945 e 1960, relacionados a transmissibilidade e impedância mecânica de pessoas em pé e sentadas. Balbinot, 2001, escreveu que a preparação da norma ISO 2631 teve início em 1966, tendo a primeira publicação em 1974, com a função de

conceder valores necessários a limitar a exposição do corpo humano às vibrações. A norma ISO 2631 possui diversas edições, sendo o ano de ocorrência das mesmas os seguintes: 1974, 1978, 1985, 1997.

Outras normas existentes em âmbito mundial relacionadas às vibrações no corpo humano, são a Diretiva Europeia (European Directive 2002/44/CE) e a BS (British Standard). De abrangência Nacional existem as normas NR e NHO, sendo Normas Regulamentadoras, e Normas de Higiene Ocupacional respectivamente. A British Standard possui duas normas relacionadas a VCI, a BS 6841 de 1987, a qual aborda os métodos a serem utilizados na avaliação de saúde e conforto humano perante vibrações, e a BS7085 de 1989, que indica os aspectos relativos a segurança de experimentos em que seres humanos ficam sujeitos às vibrações. Conforme Balbinot, 2001, a normatização Britânica é similar aos padrões da International Standard Organization. E pela Diretiva Europeia 2002/44/CE são apresentados valores limiares de exposição a movimentos oscilatórios de um trabalhador Europeu, sendo a abordagem para vibração de corpo inteiro.

A Norma de Higiene Ocupacional, norma Brasileira, foi redigida no ano de 2013 pela FUNDACENTRO, NHO 09, sua abordagem é sobre os procedimentos e critérios para o estudo das vibrações de corpo inteiro a que os trabalhadores estão sujeitos. Já a norma Brasileira NR-15, Anexo 8, 2014, apresenta os limiares de exposição diária à vibração, sendo os mesmos ultrapassados, os quais são de  $1,1 \text{ m/s}^2$  de aceleração resultante relativo a exposição normatizada ou  $21,0 \text{ m/s}^{1,75}$  de valor de dose de vibração resultante, a atividade é considerada insalubre dentro dos limites Brasileiros.

### 3.5 Metodologia para avaliação de VCI

Griffin, 1990, aborda que as funções de transferência que definem as medidas da resposta biodinâmica podem ser relacionadas a uma grandeza medida em duas regiões diversas ou a duas grandezas diversas medidas em uma mesma região. Na sua grande maioria, os trabalhos literários relacionados à vibração de corpo inteiro, a medida utilizada foi a aceleração.

Assim como em estudo realizado por Fedatto Neto, 2016, para medir e interpretar os dados recolhidos há uma metodologia e alguns procedimentos previstos em normas. Para o caso de vibração de corpo inteiro (VCI) as normas analisadas foram a ISO 2631-1, 1997 e a NR-15, 2014, através do Anexo 8, sendo indicada como guia procedimental a NHO 09, 2013, se valendo das definições e conceitos discorridos pela redação da FUNDACENTRO.

Becker, 2006, cita que as normas visando analisar os valores de aceleração utilizam os dados em *rms*, contudo deve-se levar em consideração que os efeitos de frequência não são considerados quando o valor *rms* é utilizado para o estudo de vibrações. O resultado disso é que sinais obtidos de vibração com diversos espectros de frequência acabam gerando valores semelhantes ou idênticos de leitura para diversos parâmetros, e ainda assim, o efeito no corpo humano pode diferenciar. Para que o efeito venha a ser corrigido utilizam-se curvas de compensação ou ponderação na obtenção dos dados oriundos dos movimentos de vibração a que o corpo está submetido, deve-se levar em consideração que a sensibilidade humana (valor mínimo para que haja percepção da vibração) ao fenômeno vibratório depende das frequências que estão presentes no movimento, logo muda de acordo com a orientação do corpo perante a vibração, assim a utilização das curvas de ponderação leva em conta a prevalência de um eixo sobre os outros.

Tal correção gera um novo valor de aceleração ponderada ( $a_w$ ) em frequência, mediante utilização das curvas de ponderação propostas pela norma conforme o tipo de exposição e para fins de conforto ou saúde. Segundo [Harris e Piersol, 2000; ISO 2631-1/1997; Griffin, 1990] a Equação 2.2 é utilizada para o cálculo da aceleração ponderada em  $\text{m/s}^2$ , onde  $a$  representa a aceleração *rms*, sendo  $W_i$  o fator de ponderação recomendado procedente da norma e  $a_i$  a aceleração *rms* para as dadas frequências.

$$a_{wi} = \sqrt{\sum_i [W_i * a_i]^2} \quad (2.2)$$

A Figura 3.2 apresenta as curvas de ponderação por frequência utilizadas visando a determinação da vibração de corpo inteiro, sendo as curvas relativas aos fatores  $W_k$  e  $W_d$ , as únicas aplicadas na verificação do nível de exposição relacionado à saúde em VCI.

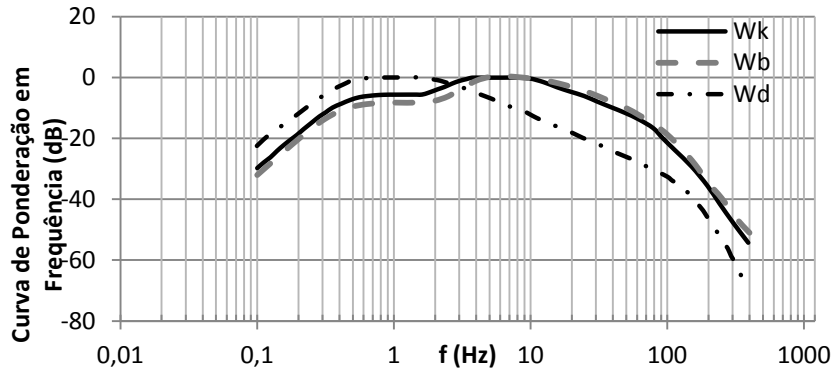


Figura 3.2 - Curva de ponderação por frequência  $W_k$  e  $W_d$  para vibração de corpo inteiro. (Fonte: adaptado de Fedatto Neto, 2016)

De acordo com as faixas de vibração e curva de ponderação oriundas da norma ISO 2631-1, 1997, para análise de VCI na superfície do assento há estabelecidos fatores de ponderação que retificam a leitura da aceleração *rms*, sendo o fator  $W_k$  para o eixo longitudinal, e o fator  $W_d$  para os eixos transversais x e y. Já para conforto, o uso da curva  $W_b$  é recomendado para eixos quaisquer. É necessário ainda o estabelecimento do fator multiplicador K, para determinar a aceleração, seu valor é tabelado na norma conforme o fator de ponderação. O fator multiplicador está relacionado com a maneira na qual o corpo humano compreende a vibração recebida por suas diversas partes. Os valores de ponderação também se distinguem pelo gênero de estudo da vibração, se a mesma é para investigação de conforto ou de saúde.

Os valores relativos às curvas de ponderação e aos fatores de multiplicação a serem empregados nas medições de vibração, encontram-se na norma ISO 2631-1 de 1997. No presente trabalho, as correções aplicadas nos eixos x, y e z, são relativas à vibração de corpo inteiro medida no assento com propósito de investigação da saúde humana e estudo do conforto. Os mesmos valores são recomendados pela NHO-09 (2014). Dessa forma é possível avaliar, mediante a definição dos fatores de correção, um valor de aceleração total ponderada,  $a_v$ , medido em  $m/s^2$  pela Equação 2.3.

$$a_v = \sqrt{k_x^2 * a_{wx}^2 + k_y^2 * a_{wy}^2 + k_z^2 * a_{wz}^2} \quad (2.3)$$

Para situações em que a exposição à vibração consista em períodos diversos com diferentes magnitudes, deve-se determinar mediante a Equação 2.4 a aceleração total equivalente,  $a_{ve}$ , que corresponde a duração total de exposição, sendo  $a_{vi}$  a vibração total para a duração da exposição  $T_i$ .

$$a_{ve} = \sqrt{\frac{\sum (a_{vi})^2 \cdot T_i}{\sum T_i}} \quad (2.4)$$

Consoante citado em Fedatto Neto, 2016, neste ponto há uma diferença entre as recomendações da ISO 2631-1, 1997 e da NR-15, 2014. A ISO diz que a

aceleração total pode ser avaliada pela Equação 2.3, caso as acelerações *rms* nas três direções tenham a mesma magnitude, caso contrário deve-se tomar a maior das acelerações *rms*. No procedimento da NHO-09, 2014, a variável correspondente é a aceleração média resultante (*rms*) e se deve fazer a soma com os fatores de correção.

Conforme descrito em [Griffin, 1990; Harris e Piersol, 2000; ISO 2631-1, 1997] a insalubridade deve levar em consideração o tempo de exposição diária, como determinado pelo Anexo 8 da NR-15 de 2014. Visando relacionar a exposição que o trabalhador recebe diariamente, com os valores estabelecidos pela normatização para uma jornada de 8 horas por dia, é necessário extrapolar seus valores. Para esta apuração sobre um tempo de referência da jornada de trabalho, emprega-se a Equação 2.5, a chamada aceleração resultante da exposição normalizada, sendo  $T_0$  a duração de jornada de 8 horas,  $T$  a jornada efetiva do trabalhador e  $a_{ve}$  representando a aceleração ponderada total equivalente.

$$A(8) = a_{ve} * \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2.5)$$

O cuidado com os dados experimentais do movimento oscilatório não se limita ao equacionamento da aceleração equivalente, a norma ISO 2631, 1997 inclusive indica o correto posicionamento dos eixos utilizados para análise visando a determinação da vibração sobre o corpo. Conforme evidenciado na Figura 4.2, o equipamento de medição precisa ser posicionado de maneira que nos eixos transversais utilizem-se as coordenadas x e y, e para o eixo vertical a coordenada z.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Procedimentos e equipamentos utilizados

Os procedimentos para a coleta de dados de vibração de corpo inteiro, assim como os sistemas de aquisição utilizados, respeitam as indicações da norma ISO 2631-1 (1997). Visando a obtenção dos dados relativos a vibração transmitida efetivamente ao corpo humano, utilizou-se um equipamento comercial medidor e analisador portátil de vibrações, denominado Quest VI-400Pro (QUEST-TECHNOLOGY), Número de Série 12430. O equipamento em questão, exposto na Figura 4.1, possui capacidade de processamento em até quatro canais, e além de medir e analisar os dados armazena-os em uma memória interna de 32 Mb. Dos quatro canais relativos a obtenção das informações, somente três foram utilizados para recebimento dos sinais nos eixos coordenados x, y e z.



Figura 4.1 – Analisador e medidor portátil comercial Quest VI-400Pro.

O sensor utilizado para medir os níveis de vibração que chegam até o corpo do motorista é o dispositivo denominado *seat pad*, o qual se constitui de material semirrígido padronizado e com o formato de um disco. Com a finalidade de adequar-se a forma da região onde serão elaboradas as medições, assim como não modificar as propriedades dinâmicas da interface corpo e banco, tais especificações juntamente com o adequado posicionamento da plataforma seguem as indicações da norma ISO 2631-1 (1997).

Conforme consta no certificado de calibração presente em anexo ao final do trabalho, a incerteza expandida de medição do equipamento é declarada como a incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência  $k = 2$ , onde o mesmo corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.

Para pós-processamento dos dados obtidos, utilizou-se o software denominado Quest Suite Profissional II. O programa permite a calibração do analisador com base nas curvas de ponderação para a aplicação requerida, assim como aplicação do devido set dos fatores de multiplicação para a finalidade utilizada.

#### 4.2 Modelos dos caminhões utilizados

Os caminhões utilizados no estudo foram do tipo trator e *munck*. É válido pontuar que caminhão trator é aquele destinado a arrastar ou tracionar reboques e semirreboques, enquanto caminhão *munck* possui sobre seu chassi uma carroceria e um guindaste comandado hidraulicamente. Nos subcapítulos 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 estarão os modelos com as características fundamentais para a análise do conforto. As dimensões dos veículos utilizados encontram-se nas Figuras A3, A4 e A5 nos anexos.

##### 4.2.1 Caminhão Trator Scania R124

O caminhão trator utilizado para o estudo foi um Scania R124, modelo 2003, com eixos simples. O mesmo possui motor Scania Diesel turbo *intercooler* de seis cilindros em linha com 360 cv a 1600 rpm, o qual gera um torque de 170 Kgfm a 1300 rpm, sua suspensão dianteira é formada por molas parabólicas, amortecedores e barra estabilizadora, a suspensão traseira possui molas parabólicas e amortecedores hidráulicos, a cabine é do tipo leito com suspensão pneumática total, possui banco com amortecimento pneumático, as rodas tem aro de 8,25" x 22,5" e pneus 295/8R 22,5.

##### 4.2.2 Caminhão Munck Ford Cargo 2422

O caminhão *munck* da marca Ford Cargo 2422, modelo 2011, é do tipo *truck*, eixo traseiro duplo. Possui motor Cummins Diesel de 6 cilindros em linha, tendo uma potência máxima de 220 cv a 2.300 rpm, gerando um torque máximo de 82 Kgfm a 1500 rpm. Sua suspensão dianteira é formada por barra estabilizadora, feixes de molas parabólicas, amortecedores hidráulicos telescópicos de dupla ação, enquanto sua suspensão traseira possui feixe de molas semielípticas no eixo trativo e no terceiro eixo. A cabine é do tipo leito com suspensão mecânica, possui banco com suspensão pneumática. As rodas do veículo possuem aro de 7,5" x 22,5" e pneus 275/8R 22,5.

##### 4.2.3 Caminhão Munck Volkswagen Constellation 24.280

O caminhão *munck* VolksWagem Constellation 24.280, modelo 2013, é do tipo *truck*, eixo traseiro duplo. Sua motorização é MAN Diesel com 6 cilindros em linha tendo uma potência máxima de 277 cv a 2300 rpm e um torque máximo de 107,07 a 112 Kgfm com 1700 rpm. Possui suspensão dianteira formada por molas semielípticas de duplo estágio, amortecedores hidráulicos telescópicos de dupla ação e barra estabilizadora, o conjunto que forma a suspensão traseira é eixo rígido motriz e eixo auxiliar *tag-tanden* tipo balancim com suspensor eletropneumático para o eixo auxiliar, e molas semielípticas assimétricas trapezoidais. A cabine é do tipo leito e possui amortecimento mecânico, assim como o sistema de amortecimento dos bancos. As rodas possuem aro 22,5" x 7,25" com pneus 275/ 8R 22,5.

#### 4.3 Instrumentação dos caminhões

As medições foram realizadas através da utilização de um *seat pad* posto na interface do motorista com o assento, como pode ser visto na Figura 4.2 abaixo. Os



dados foram obtidos em uma trajetória de 14.280 metros, tendo as medições um tempo médio de 29 minutos.

Todo o procedimento experimental foi realizado conforme a norma NHO-09, ou seja, as medições da VCI foram realizadas simultaneamente conforme as três direções do sistema de coordenadas ortogonais mediante a utilização de acelerômetros triaxiais, sendo o local de medição propício para fornecer resultados representativos da exposição ocupacional à vibração.



Figura 4.2 – Instrumentação realizada em um dos objetos de análise do trabalho.

#### 4.4 Tipos de pavimentos e trechos avaliados

A escolha do tipo de pavimentação relativa aos trechos rodoviários utilizados para a análise, teve como parâmetro as situações mais comuns de trabalho em meios urbanos. Sendo assim, dois tipos de pavimentação foram arbitrados para a realização dos testes: pavimentação de paralelepípedo e pavimentação asfáltica. Ambos trechos se encontram localizados no Bairro Rio Branco, na cidade Canoas/RS.

Alguns trechos com asfalto apresentam irregularidades provenientes da falta de manutenção e do fluxo intenso de veículos, porém de forma conservadora pode-se considerá-los superfícies de rolamento liso. Os trechos com paralelepípedos são livres de interrupções geradas pelo trânsito e falta de manutenção, o que apresentam de irregularidades longitudinais é devido predominantemente às juntas existentes entre cada bloco.

Na Figura 4.3, encontram-se imagens de trechos das vias utilizadas no estudo. E na Tabela A.4 no final do trabalho encontram-se as regiões com paralelepípedo e asfalto, com os respectivos nomes das ruas e suas distâncias.

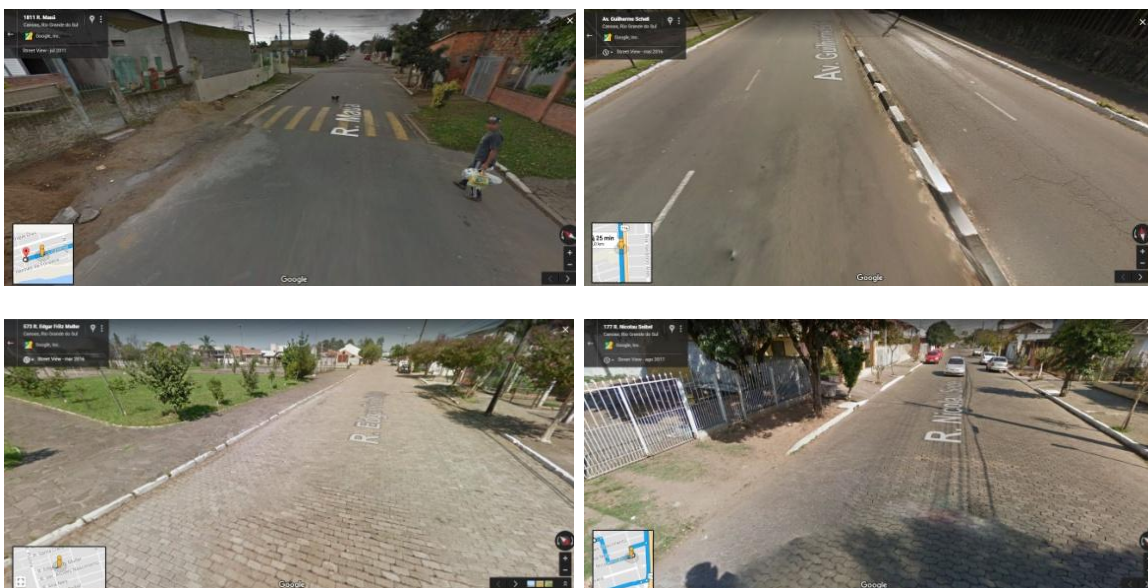


Figura 4.3 – Apresentação das regiões asfálticas, acima, e cobertas com paralelepípedo, abaixo.

Todos os veículos foram submetidos, na medida do possível, a mesma faixa de velocidades, sendo essas estipuladas de tal forma que contemplassem situações comuns de tráfego em meios urbanos. As velocidades ficaram entre 40 km/h e 60 km/h, sendo essas velocidades permitidas nestas regiões.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Avaliação sobre conforto e risco à saúde do condutor

A seguir estão os resultados do estudo relacionado ao grau de conforto obtido para os diversos caminhões, com as situações propostas, onde para as mesmas obteve-se à cada um dos eixos coordenados (x, y e z) estipulados pelas normas NHO-09, 2013 e ISO 2631-1, 1997, os valores relacionados a aceleração *rms* ponderada pela frequência.

Para correta utilização das acelerações *rms*, usou-se curvas de ponderação e fatores de multiplicação, dessa forma as acelerações obtidas estão escritas como  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  e  $a_{wz}$ . Após obter as essas acelerações parciais, mediante a utilização da Equação (2.3) juntamente com os fatores de multiplicação indicados pela NHO-09, 2013, aplicados à seus respectivos eixos, calcula-se a aceleração total  $a_v$  expressa em  $m/s^2$ .

Segundo a norma NHO-09, 2013, os parâmetros básicos para avaliação da exposição à VCI correspondem à aceleração resultante da exposição normalizada  $A_{(8)}$  e ao valor da dose de vibração resultante. Através da vibração total obtida com a Equação (2.3), mediante a Equação (2.5) obtém-se  $A_{(8)}$ , que representa quanto o trabalhador ficou exposto à vibração durante uma jornada de trabalho de 8 horas.

O comparativo de conforto foi estabelecido conforme indicações da norma ISO 2631-1, 1997. A Tabela 5.1 apresenta os valores estipulados pela norma em questão para seis níveis de qualidade.

Tabela 5.1 – Estratificação de valores expostos pela norma ISO 2631-1, 1997.

Conforto ISO 2631-1, 1997	Aceleração	
Confortável	< 0,315	$m/s^2$
Levemente Confortável	0,63	$m/s^2$
Pouco Desconfortável	1,0	$m/s^2$
Desconfortável	1,6	$m/s^2$
Muito Desconfortável	2,5	$m/s^2$
Extremamente Desconfortável	> 2,5	$m/s^2$

### 5.2 Resultados para o assento com variação na velocidade limite

A primeira análise realizada foi a influência da velocidade sobre o grau de conforto apresentado pelos caminhões, sendo quantificado mediante a aceleração longitudinal proveniente das vibrações oriundas dos trechos e transmitidas aos motoristas. Para tal estudo promoveram-se duas velocidades limites, uma de 40 Km/h e outra de 60 Km/h. O trecho onde foram implementadas essas velocidades limites é relativo à 4,5 Km na Avenida Guilherme Schell, na cidade de Canoas/RS.

Os resultados dos testes quando comparados aos limites de conforto da norma ISO 2631-1:1997 apresentados pela Tabela 5.1 acima, demonstram que para uma velocidade limite de 40 Km/h o caminhão Ford Cargo 2422 apresenta maior grau de conforto do que os outros dois veículos, ficando em segundo lugar em termos de conforto o Scania R124 e posteriormente o Volkswagen Constellation 24.280. Ao alterar-se a velocidade para o limite de 60 Km/h o nível de vibração total transmitido ao motorista sofreu acréscimos de 11,76%, 16,92% e 15,06% para o Scania, Ford e Volkswagen respectivamente. Relacionado a esse segundo momento os caminhões Scania R124 e Cargo 2422 apresentaram a mesma aceleração resultante da

exposição normalizada, com um valor de  $0,76 \text{ m/s}^2$ , enquanto o Constelattion apresentou um valor de  $1,22 \text{ m/s}^2$ , sendo assim menos confortável. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Parâmetros obtidos através do processamento dos dados experimentais oriundos da medição no assento dos veículos para as acelerações nas 3 direções.

PARA UM TEMPO DE EXPOSIÇÃO REPRESENTATIVO DE UMA JORNADA DE 8 HORAS						
Medição 1						
Veículo	Velocidade Máx.(Km/h)	Tempo Real de Exposição (hs)	Tempo para Atingir VAE (hs)	Tempo para Atingir VLE (hs)	A(8) ( $\text{m/s}^2$ )	Grau de Conforto
Scania	40	0,08	4,38	17,52	0,68	Pouco Desconfortável
Cargo	40	0,09	4,71	18,86	0,65	Pouco Desconfortável
Volkswagen	40	0,11	1,77	7,08	1,06	Desconfortável
Medição 2						
Scania	60	0,07	3,47	13,89	0,76	Pouco Desconfortável
Cargo	60	0,08	3,45	13,82	0,76	Pouco Desconfortável
Volkswagen	60	0,07	1,35	5,4	1,22	Desconfortável

Analisando os resultados expostos na Tabela 5.2 verifica-se que o tempo em que o motorista do caminhão Scania pode dirigir é cerca de 4,38 horas em uma pista asfaltada que apresente velocidade máxima permitida de 40 Km/h, durante esse tempo o valor limite de ação (VAE) não é atingido e assim nenhuma atitude prévia precisa ser implementada com a finalidade de diminuir a exposição à vibração visando evitar problemas de saúde. Nessas condições o tempo limite de exposição à vibração (VLE) será de 17,52 horas diárias, ultrapassando esse tempo haverá grandes chances do desenvolvimento de problemas de saúde. Na medida em que se aumenta a velocidade limite, a vibração total atinge maiores níveis como mencionado anteriormente, logo observando o mesmo motorista com o caminhão Scania agora imprimindo uma velocidade de 60 km/h terá o valor limite de ação (VAE) reduzido para 3,47 horas, e o valor limite de exposição à vibração (VLE) reduzido à 13,89 horas.

No veículo Cargo 2422 o motorista poderá dirigir durante 4,71 horas a 40 Km/h de velocidade máxima sem que alguma atitude tenha que ser tomada para impedir que problemas de saúde ocupacional venham a ocorrer, porém somente dirigindo acima de 18,86 horas em tais circunstâncias é que muito provavelmente terá alguma doença pela exposição ocupacional à vibração. Aumentando a velocidade limite para 60 km/h esse tempo passa para 13,82 horas, e o tempo limite de ação muda para 3,45 horas.

Com um grau maior de alerta, temos que o veículo Constelattion 24.280 pode, conforme os dados obtidos, ser dirigido na primeira comparação durante 1,77 horas antes que alguma ação tenha que ser desenvolvida afim de minimizar a aceleração resultante da exposição normalizada, e por 7,08 horas até que o VLE fosse atingido, no segundo comparativo o valor para atingir VAE caiu para 1,35 horas, e para atingir VLE diminuiu para 5,40 horas.

Os resultados obtidos são coerentes com o esperado, tendo em vista as especificações técnicas dos caminhões. O veículo Scania R124 possui suspensão pneumática no banco do motorista e na cabine, calibrada de forma que apresente maior conforto para o condutor em situações de pista com valores relativamente elevados de irregularidades longitudinais, devido o caminhão percorrer preferencialmente trechos dessa categoria. O veículo que apresentou conforto intermediário entre os caminhões avaliados, Cargo 2422, tem banco com suspensão pneumática e cabine com suspensão mecânica, e o caminhão mais desconfortável, Constelattion 24.280, apresenta suspensão mecânica para a cabine e bancos.

Na Figura 5.1 apresenta-se um exemplo da medição no assento do veículo Cargo 2422 para as acelerações nas 3 direções, nos trechos em que variou-se a velocidade. Para os outros veículos encontram-se no Apêndice nas Figuras A.6 e A.7.

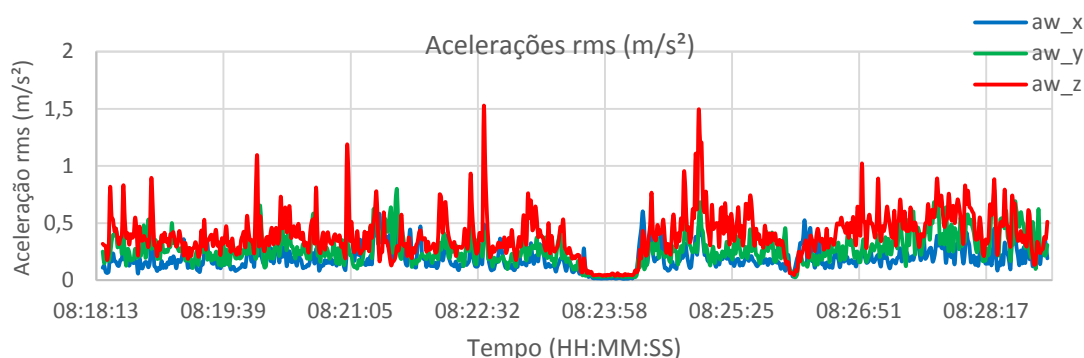


Figura 5.1 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, nos trechos em que se variou a velocidade, medido no assento do motorista no veículo Ford Cargo 2422.

Corroborando com o referido estudo, Panduragan *et al.*, 2016, em seu trabalho sobre transmissibilidade de vibração para assentos pneumáticos, afirma que conforme os parâmetros de rigidez e amortecimento dos bancos existentes nos caminhões a redução da vibração pode ser aumentada em 63%. Caso exista suspensão pneumática na cabine a redução torna-se ainda mais preponderante, covalidando os resultados do experimento.

### 5.3 Resultados para o assento com diferentes tipos de pavimentação

Posterior ao estudo do comportamento de cada veículo perante diferentes velocidades, elaborou-se um estudo sobre a forma com que o tipo de pavimentação interfere no grau de conforto apresentado. Foram selecionados dois trechos, um predominantemente asfaltado (trecho 1) e outro sendo um trecho misto, partes com bloco intertravado e partes com asfalto (trecho 2). Os parâmetros fundamentais à análise de conforto nos trechos em questão encontram-se na Tabela 5.3 abaixo.

Tabela 5.3 – Parâmetros obtidos através do processamento dos dados experimentais.

PARA UM TEMPO DE EXPOSIÇÃO REPRESENTATIVO DE UMA JORNADA DE 8 HORAS						
Trecho 1						
Veículo	Velocidade Máx.(Km/h)	Tempo Real de Exposição (hs)	Tempo para Atingir VAE (hs)	Tempo para Atingir VLE (hs)	A(8) (m/s <sup>2</sup> )	Grau de Conforto
Scania	40	0,23	3,71	14,83	0,73	Pouco Desconfortável
Cargo	40	0,13	3,14	12,57	0,80	Pouco Desconfortável
Volkswagen	40	0,18	1,93	7,71	1,06	Desconfortável
Trecho 2						
Scania	40	0,17	2,76	11,02	0,85	Pouco Desconfortável
Cargo	40	0,11	2,58	10,33	0,88	Pouco Desconfortável
Volkswagen	40	0,11	1,33	5,32	1,23	Desconfortável

Mediante os dados analisados, conclui-se que, assim como esperado, os valores relativos à vibração a qual o motorista está sujeito é consideravelmente menor no trecho que apresenta predominantemente asfalto. Os valores relativos a aceleração equivalente  $A_{(8)}$  no trecho em questão é menor cerca de 14,11%, 9,09% e 13,82% para os caminhões Scania R124, Ford Cargo 2422 e Volkswagen Constelattion 24.280



respectivamente. Comparando com a ISO 2631-1, 1997, o valor *rms* total indica que o nível de vibração é tido como pouco desconfortável para os veículos com algum tipo de suspensão pneumática, Scania R124 e Cargo 2422, porém desconfortável para o veículo em que todas as suspensões são mecânicas. O veículo com suspensão pneumática da cabine e banco do motorista, apresentou-se mais confortável conforme o esperado.

Na Figura 5.2 apresenta-se um exemplo da medição no assento do veículo Scania R124 para as acelerações nas 3 direções, no trecho predominantemente asfaltado. As demais para os outros veículos e trecho encontram-se no Apêndice, nas Figuras A.8, A.9, A.10, A.11 e A.12.

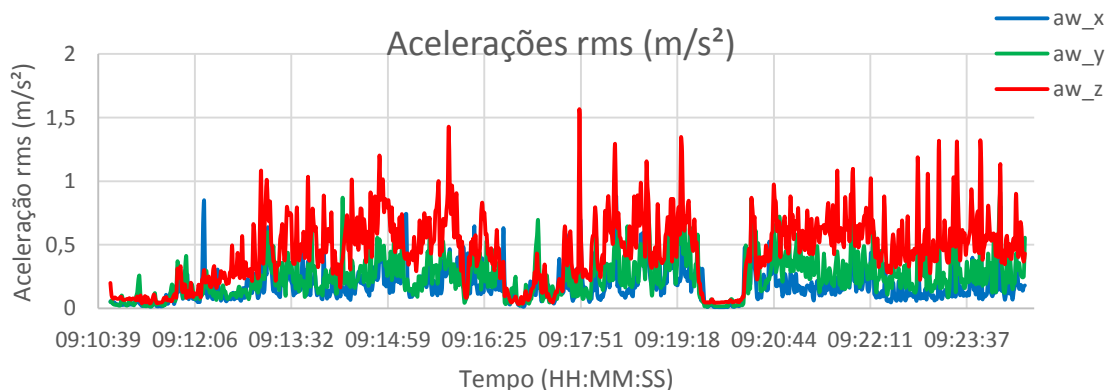


Figura 5.2 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho predominantemente asfaltado, medido no assento do motorista no veículo Scania R124.

## 6 CONCLUSÕES

O estudo elaborado no presente trabalho indica que o grau de conforto quanto a vibração, apresentou diferenças consideráveis em função da velocidade, do tipo de pavimento e sistema de suspensão dos veículos. De forma que na situação mais branda de vibrações, sendo ela em trechos asfaltados e com velocidade média de 40 Km/h imposta aos veículos, a aceleração resultante da exposição normalizada ( $A_8$ ) obtida nos caminhões Volkswagen Constellation 24.280, Ford Cargo 2422 e Scania R124 respectivamente, foi cerca de 13,82%, 26,13% e 20% menor do que aquela apresentada na situação mais severa de vibrações, trecho percorrido com velocidade média de 40 Km/h, contendo ruas asfaltadas e ruas com paralelepípedo. De forma geral pode-se atribuir um nível de conforto maior de acordo com a escala da norma ISO 2631-1, 1997, ao veículo Scania R124.

Conforme pesquisa elaborada em 2016 pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), sobre o perfil dos caminhoneiros, tais trabalhadores dirigem em média 10 mil quilômetros mensais com uma jornada de 11,3 horas por dia. Para a jornada de trabalho apresentada pela CNT, as vibrações decorrentes do assento superaram o valor limite de ação (VAE) em todas as situações as quais os veículos foram submetidos, necessitando assim que alguma providência seja implementada afim de diminuir a exposição.

Na configuração de trabalho mais realista para o profissional da empresa de origem dos veículos utilizados, trecho com ruas asfaltadas e ruas com paralelepípedo a uma velocidade média de 40 km/h, somente o motorista do veículo Volkswagen Constellation 24.280 estaria submetido a uma dose de vibração diária que excederia o valor limite de exposição (VLE), sujeito assim a grandes probabilidades de adquirir uma doença ocupacional devido a vibração. Os motoristas dos outros caminhões atingiriam o valor limite de ação (VAE) tendo que tomar alguma atitude afim de diminuir o risco para a saúde.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balbinot, A.; **"Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde."** Tese para obtenção de título de doutor em engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

Barreira, T.; **"Abordagem ergonômica da LER"**. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional 1994; 22(84): 51-60.

Becker, T.; **"Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos no corpo humano, medições em um grupo de motoristas e ajuste de um modelo biodinâmico."** Tese para obtenção de título de doutor em engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 2006.

Bovenzi, M.; Zadini A.; **"Self-reported low back symptoms in urban bus drivers exposed to wholebody vibration."** Spine 1992; 17:1048-59.

Chaffin, D. B.; Anderson, G. B. J.; Martin, B. J.; **"Occupational biomechanics."** Wiley-Interscience, U.S.A, 1999.

Du, B. B.; Bigelow, P. L.; Wells, R. P.; Davies, H. W.; Hall, P.; Johnson, P. W.; **"The impact of different seats and whole-body vibration exposures on truck driver vigilance and discomfort."** Ergonomics, 61:4, 528-537.2018, DOI:10.1080/00140139.2017.1372638.

Fedatto Neto, M.; **"Avaliação dos níveis de vibração de corpo inteiro (VCI) em usuários de trens em Porto Alegre e região Metropolitana."** Monografia (Graduação em Engenharia) - Faculdade de Engenharia. UFRGS, Porto Alegre, 2016.

Fernandes, J. C.; **"Segurança nas vibrações sobre o corpo humano."** 2000.

Fernandes, R. C. P.; **"Lombalgia e trabalho: uma breve revisão."** Revista Brasileira de Saúde Ocupacional 2002; 27 (101-102): 55-65. Revisão.

Figueiredo, M.; Silva, L.; Barnabé, T.; **"Transporte coletivo: vibração de corpo inteiro e conforto de passageiros, motoristas e cobradores."** The Journal of Transport Literature, 2016.

Gama, C. V.; Paneiro, G.; **"A incomodidade humana perante vibrações e sua caracterização absoluta e relativa."** X Congresso Nacional de Geotecnia, Campus de Campolide, Lisboa, 2006.

Griffin, M. J.; **"Measurement and evaluation of whole-body vibration at work"**, International Journal of Industrial Ergonomics, vol. 6, no. 1, pp. 45-54, 1990.

Gupta, A.; McCabe, S. J.; **"Vibration white finger"**. Occupational diseases of the hand, pp. 325-337. 1993.

Harris, C. M.; Piersol, A. G.; **"Shock and vibrations Handbook"**. 5<sup>th</sup> Ed. McGraw-Hill, 1456p. 2002. ISBN: 0-07-137081-1.

Hoogendoorn *et al.*; **"Physical load during work and leisure time as risk factors for back pain"**. Scand. J. Work Environ Health 1999 Oct; 25(5): 387-403. Review.

ISO 2631-1:1997. **"Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole body vibration - Part 1: General requirements."** International Organization for Standardization, 2007.

NHO-09. **"Normas de Higiene Ocupacional. Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibração de Corpo Inteiro."** Fundacentro. 64p 2013.

NR-15. **"Norma Regulamentadora No.15. Atividades e operações insalubres - Anexo N°8 Vibrações"**.2014.

Krause N.; Ragland D.R.; Greiner B.A.; Fisher J.M.; Holman B.L.; Selvin S.; " **Physical workload and ergonomic factors associated with prevalence of back and neck pain in urban transit operators.**" Spine 1997; 15;22(18): 2117-2126.

Kim *et al.*, " **Whole Body Vibration Exposures in Long-haul Truck Drivers.**" Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 59th Annual Meeting. 2015. DOI 10.1177/1541931215591205.

Lida, I.; " **Ergonomia: Projeto e Produção.**" Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1990.

Maeda, S.; Morioka, M.; " **Measurement of whole-body vibration exposure from garbage trucks.**" Journal of Sound and Vibration, V.215(4), pp.959-964, 1998.

Maia, R. H.; " **Análise de sensibilidade aplicada a estudos de conforto vibracional em automóveis.**" Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia. PUC Minas, Belo Horizonte, 2002.

Miyamoto *et al.*; " **An epidemiologic study occupational low back pain in truck drivers.**" J. Nippon Med. Sch. 2000; 67 (3): 186-190.

Moraes, G. F. S.; Sampaio, R. F.; Silva, L. F.; Souza, M. A. P.; " **Vibração de corpo inteiro e distúrbios musculoesqueléticos em motoristas de caminhão.**" Fisioter. Mov., Curitiba, v. 29, n. 1, p. 159-72, 2016. DOI: 10.1590/0103-5150.029.001.AR01.

Pandurangan, K.; Venna, H. K. V.; Banthia, V.; " **Reduction of vibration transmissibility to driver's seat of truck.**" SAE Technical Paper, 2016-28-0203, 2016. DOI 10.4271/2016-28-0203.

Panjabi, M. M.; Anderson, G. B. J.; Jorneus, L.; Hult, E.; Mattsson, L.; " **In vivo measurement of spinal column vibrations.**" The Journal of Bone and Joint Surgery, pp. 695-702, 1986.

Prasad, N.; Tewari, V.,k.; Yadav, R.; " **Tractor ride vibration: a review.**" Journal of Terramechanics, Silsoe, pp. 205-219, 1995.

Pope, M. H.; Moresavage, D.; " **Epidemic and aspects of etiological behind pain in vibration atmospheres - modern aspects modernization,**" Clinical biomechanics, 1996.

Quest-Technology. " **Real-time vibration Analysers**", VI-400PRO, Preliminary owner's manual. 2005.

Riihimaki *et al.* " **Incidence of sciatica pain among men in machine operating, dynamic physical work, and sedentary work.**" Spine 1994; 19 (2): 138-142.

Sell, I.; " **Projeto do trabalho humano: Melhorando as condições de trabalho.**" Florianópolis: UFSC, p. 470, 2002.

Ueta, V.; " **Análise de um sistema de vibração com três graus de liberdade: comparação entre três métodos de solução.**" Monografia (Graduação em Engenharia) - Faculdade de Engenharia. UFRJ, 2015.

Vendrame, A. C.; 2005; " **Vibrações Ocupacionais, Consultores e Associados**" 13p.[http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes\\_vendrame.pdf](http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes_vendrame.pdf). Acessado em maio de 2018.

Vieira, S. I.; " **Medicina básica do trabalho.**" 3 ed. Genesis, V.2, 1998.

Wasserman, D. E.; " **Human aspects os occupation vibration.**" Elsevier Science Publishers B. V., U.S.A. 1987.

## Certificado de Calibração nº 16110

### Solicitante do Serviço

Nome: **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
 Departamento de Engenharia Mecânica  
 Endereço: **Rua Sarmiento Leite, 425 - 2º andar - Porto Alegre - RS**

### Identificação da Unidade sob Teste

Tipo: **Medidor de vibração**  
 Marca: **Quest Technologies**  
 Modelo: **VI-400 Pro**  
 Nº de série: **12430**  
 Nº do transdutor: **Dytran 3023A2 Série 4147**  
**Dytran 3143M1 Série 2531**  
 Código de identific.: **12430**  
 Protocolo: **291-17**



Unidade sob teste

### Condições Ambientais

Temperatura: **23 °C ± 3 °C**  
 Umidade: **55 % ± 10%**

### Informações administrativas

Data recebimento: **30/10/2017**  
 Data da calibração: **02/12/2017**  
 Data da emissão: **05/12/2017**

### Notas:

- Este Certificado de calibração atende aos requisitos da NBR - ISO/IEC 17025 - 2005 e é válido apenas para a unidade sob teste acima caracterizada, não sendo extensivo a quaisquer outros instrumentos de medição ou lotes, ainda que similares.
- Todos os padrões utilizados nesta calibração são rastreados aos padrões metrológicos primários nacionais ou internacionais.
- Este certificado somente pode ser reproduzido em sua forma integral, reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo Walm Lab.
- A incerteza expandida de medição (IM) é declarada como a incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência  $k=2$ , o qual corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.  
A incerteza expandida da medição foi determinada de acordo com a terceira edição Brasileira do "Guia para Expressão da Incerteza de Medição" (ISO GUM).
- As medições são realizadas três vezes consecutivas e a média das três é o resultado final.



Walter Guimarães Junior  
Gerente Técnico

Av. Guilherme Schell, 5626 c/j 403/404 Canoas - RS CEP 92310-000 Fone: 51 34727810 walmilab@terra.com.br

Figura A.1 - Certificado de Calibração do Equipamento VI-400 PRO.

Tabela A.1 - Pesquisa realizada pela CNT relativa a qualidade das rodovias em 2015.

Pesquisa CNT de Rodovias por tipo de variável 2016						
Variável	Extensão Total (%)					
	2015					
	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	Total
Estado Geral	11,6%	30,2%	34,6%	17,3%	6,3%	100,0%
Pavimento	44,5%	7,2%	35,8%	9,9%	2,6%	100,0%
Sinalização	14,0%	34,3%	29,1%	12,7%	9,9%	100,0%
Geometria	5,0%	17,1%	27,9%	18,2%	31,8%	100,0%



Tabela A.2 - Pesquisa realizada pela CNT relativa ao ano de fabricação dos veículos de transporte de carga circulantes no país em 2015.

Ano de fabricação do veículo	Tipo de Caminhoneiro	
	2015	
	Autônomos	Empregado de Frota
Até 1995	36,5%	8,0%
1996 a 2000	13,6%	4,5%
2001 a 2005	14,5%	10,4%
2006 a 2010	18,8%	34,7%
2011 a 2015	15,8%	41,8%
Não opinaram	0,8%	0,6%
TOTAL	100,0%	100,0%

Tabela A.3 - Pesquisa realizada pela CNT relativa ao tempo médio de profissão dos motoristas de transporte de carga em 2015.

Tempo de Profissão	Tipo de Caminhoneiro	
	2015	
	Autônomos	Empregado de Frota
Até 5anos	13,3%	23,5%
De 6 a 10 anos	16,0%	19,9%
De 11 a 15 anos	13,3%	15,7%
De 16 a 20 anos	17,5%	13,6%
De 21 a 25 anos	11,7%	10,4%
De 26 a 30 anos	12,2%	5,3%
31 anos ou mais	16,0%	11,6%
TOTAL	100,0%	100,0%

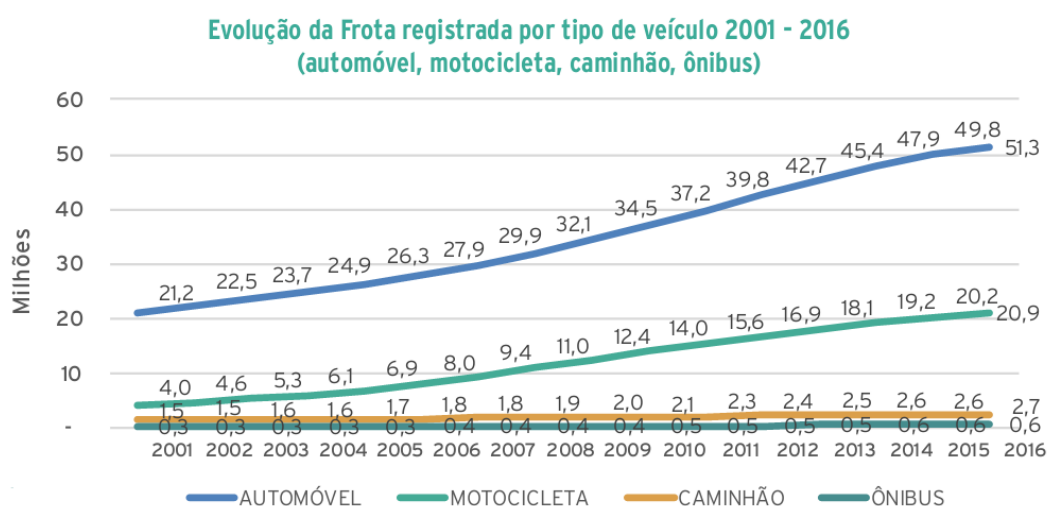


Figura A.2 – Evolução da frota de veículos desde o ano de 2001 a 2016, segundo anuário 2017 da CNT.

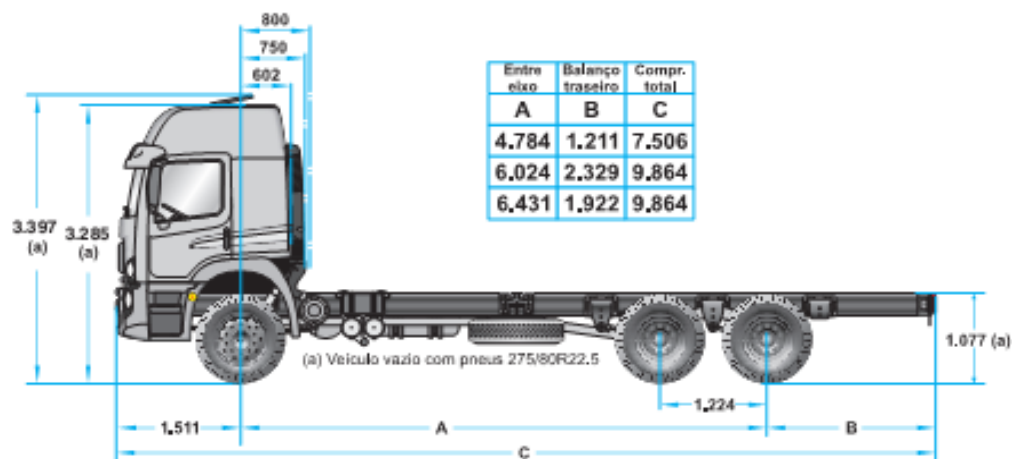


Figura A.3 - Vista lateral do veículo Volkswagen Constellation 24.280.

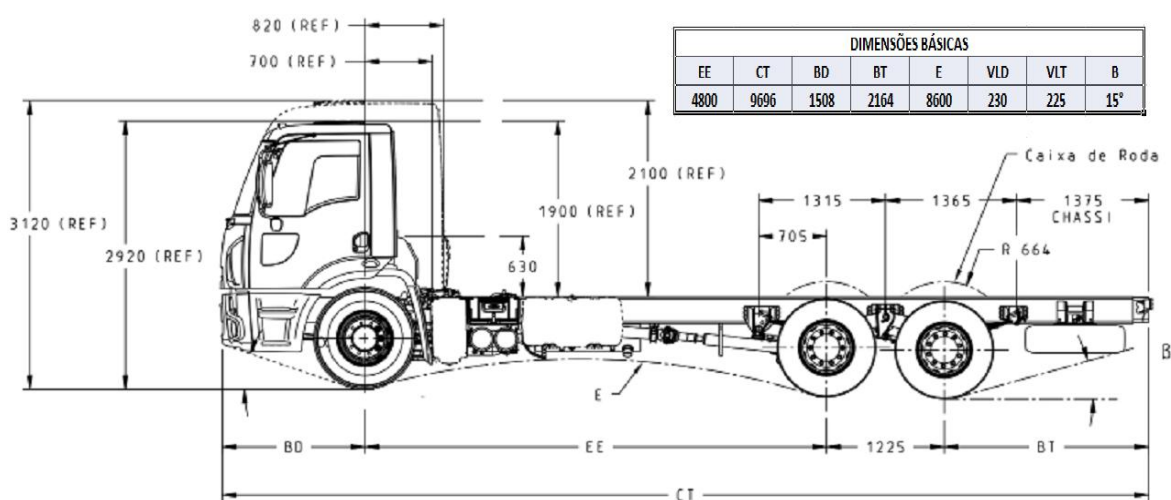


Figura A.4 - Vista lateral do veículo Ford Cargo 2422.

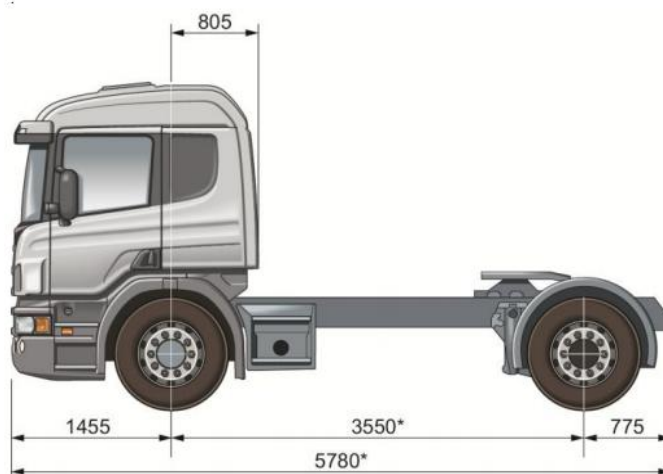


Figura A.5 - Vista lateral do veículo Scania R124.

## APÊNDICE

Tabela A.4 – Respective trechos de medição, contendo o logradouro, distância percorrida e tipo de pavimento.

RUA	DISTÂNCIA (metros)	PAVIMENTAÇÃO
Mauá	3000	Asfalto
Paes Lemes	630	Asfalto
Primavera	550	Asfalto
Cairú	240	Asfalto
Nicolau Seibel	400	Paralelepípedo
Guilherme Schell	9000	Asfalto
D.João Becker	250	Asfalto
Edgar Fritz Muller	210	Paralelepípedo

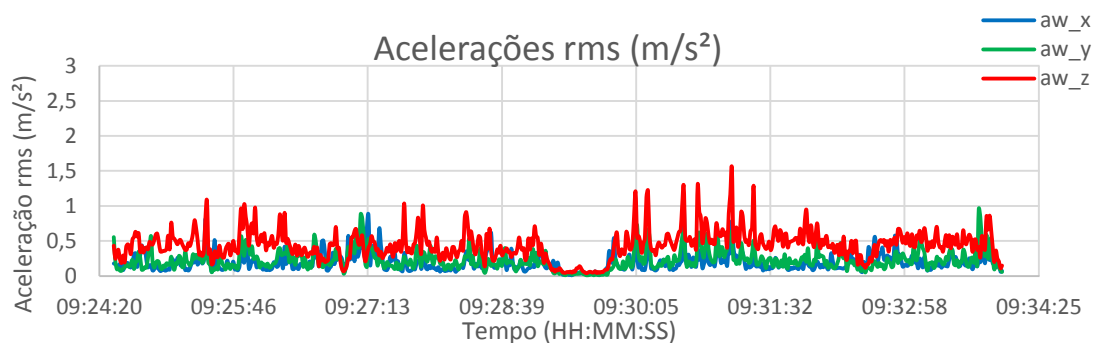


Figura A.6 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções nos trechos em que variou-se a velocidade para o veículo Scania R124.

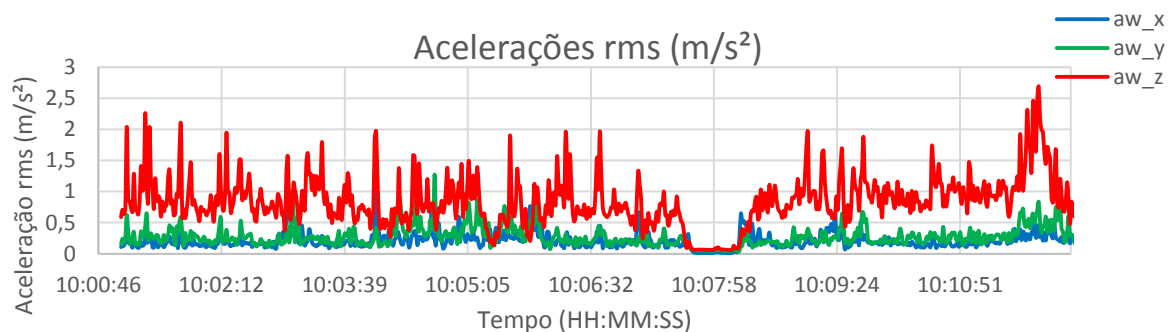


Figura A.7 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções nos trechos em que variou-se a velocidade para o veículo Volkswagen Constellation 24.280.

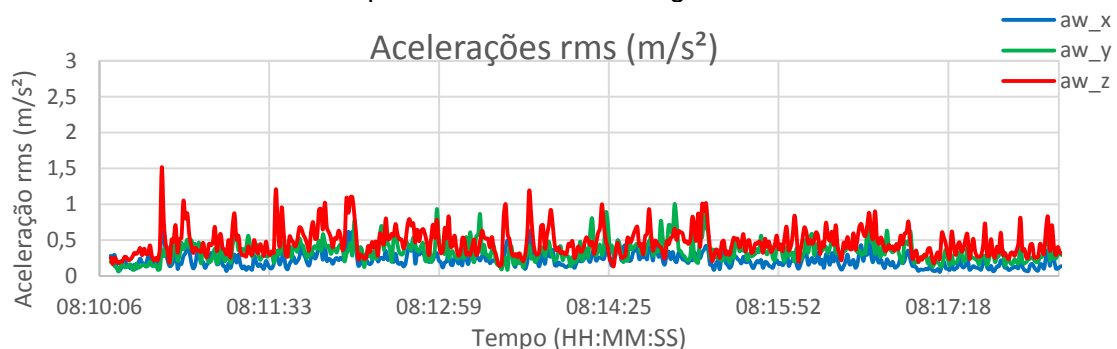


Figura A.8 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho com ruas predominantemente asfaltadas, medido no assento do motorista no veículo Ford Cargo 2422.

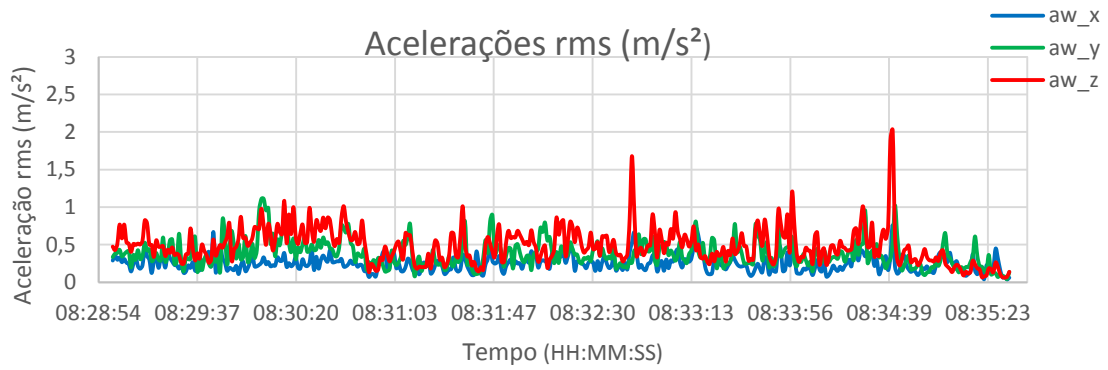


Figura A.9 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho com ruas asfaltadas e com ruas com paralelepípedo, medido no assento do motorista no veículo Ford Cargo 2422.

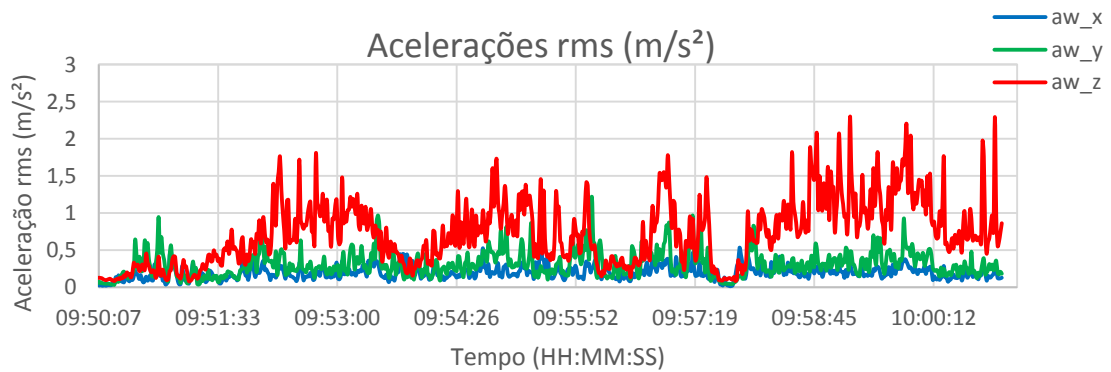


Figura A.10 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho com ruas predominantemente asfaltadas, medido no assento do motorista no veículo Volkswagen Constellation 24.280.

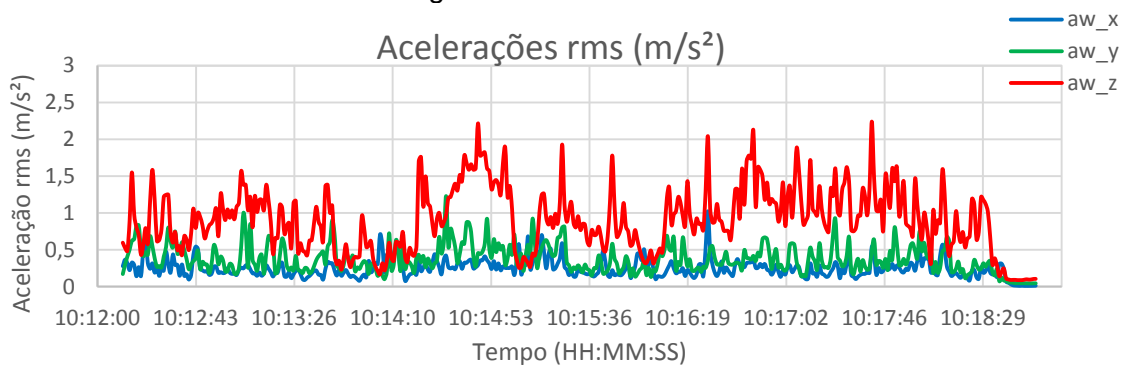


Figura A.11 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho com ruas asfaltadas e com ruas com paralelepípedo, medido no assento do motorista no veículo Volkswagen Constellation 24.280.

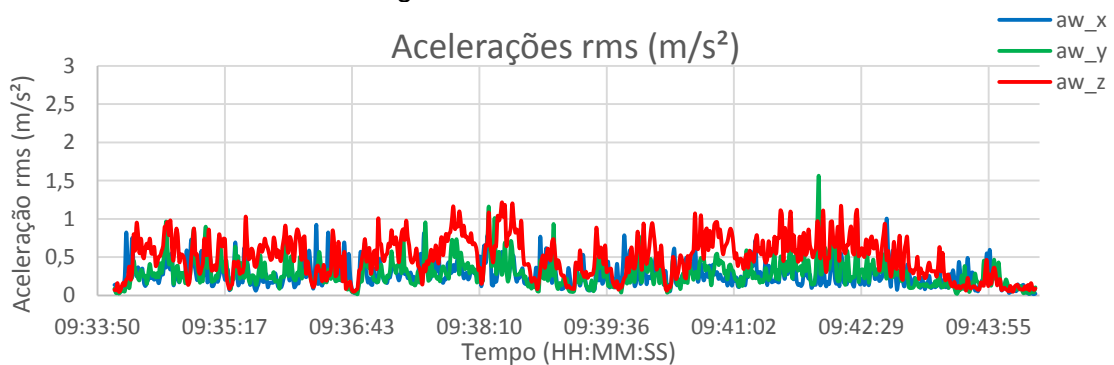


Figura A.12 – Sinal no tempo das acelerações nas 3 direções, para o trecho com ruas asfaltadas e com ruas com paralelepípedo, medido no assento do motorista no veículo Scania R124.