

FRANCISCO KADERLI

ANÁLISE DO CONFORTO QUANTO À VIBRAÇÃO EM VEÍCULOS DE  
PASSEIO

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.

Orientador: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Porto Alegre  
2010



**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**Escola de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**

**ANÁLISE DO CONFORTO QUANTO À VIBRAÇÃO EM VEÍCULOS DE PASSEIO**

**FRANCISCO KADERLI**

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS RE-  
QUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**ENGENHEIRO(A) MECÂNICO(A)**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Walter Jesus Paucar Casas  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

***BANCA EXAMINADORA:***

Prof. Dr. Ignácio Iturrioz  
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Rogério José Marczak  
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Walter Jesus Paucar Casas  
UFRGS / DEMEC

Porto Alegre  
2010

Ao meu irmão Christian Kaderli (*in memoriam*).

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais Wilson e Vera por toda educação, carinho, apoio e incentivo que recebi desde o início de minha existência.

À minha namorada Cristiane, por estar sempre ao meu lado, oferecendo carinho e compreensão em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Herbert Martins Gomes, por toda ajuda e suporte oferecidos durante todo desenvolvimento deste trabalho, e pela disponibilização de seu automóvel para a realização dos testes.

Aos meus amigos Rafael Rabello dos Santos e Alexandre Nunes Stedile, pela grande amizade e pela disponibilização de seus veículos para a realização deste trabalho.

Ao colega Luis Roberto Centeno Drehmer, pela grande ajuda oferecida durante a realização das medições.

Ao Grupo de Mecânica Aplicada (GMAp) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS, pela disponibilidade dos equipamentos de medição.

Não podemos dirigir o vento,  
mas podemos ajustar as velas.

*Autor desconhecido*

KADERLI, F. **Análise do Conforto quanto à Vibração em Veículos de Passeio**. 2010. 22f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

## **RESUMO**

O uso de automóveis vem crescendo atualmente, sendo de suma importância que estes propiciem bem-estar ao motorista e a seus passageiros. O trabalho busca avaliar o grau de conforto do motorista em relação à vibração através de medições realizadas em quatro veículos de mesma categoria disponíveis no mercado brasileiro. São eles: Volkswagen Gol, Ford Fiesta, Renault Sandero e Fiat Palio. Para avaliação são colocados como condições de comparação o tipo de pavimento, velocidade e local de medição. A medição da vibração é feita através da inserção de acelerômetros em partes de contato do motorista com o veículo. Utiliza-se um acelerômetro para medir o nível de vibração no volante (vibração transmitida ao sistema mão-braço) e outro acoplado ao banco do motorista através de um *seatpad* para medir a vibração transmitida ao corpo inteiro. Ainda, para a situação de motoristas profissionais avalia-se a exposição diária à vibração A(8) para diferentes situações de trabalho e compara-se com os limites de exposição definidos pelas normas vigentes. Faz-se ainda, um estudo estatístico a fim de comprovar a influência de parâmetros como a velocidade e tipo de pavimento, na vibração interna dos veículos. Segundo a análise de conforto, verifica-se em uma média geral, que o Volkswagen Gol, apresenta níveis de vibração menores que os demais veículos, seguidos do Ford Fiesta, Renault Sandero e Fiat Palio. Em termos da exposição humana à vibração, percebe-se que para determinadas condições as vibrações podem ultrapassar os limites de exposição permitidos pela norma.

**PALAVRAS-CHAVES:** Instrumentação mecânica, Conforto veicular, Exposição diária à vibração, Vibração transmitida ao corpo inteiro, Vibração transmitida ao sistema mão-braço.

KADERLI, F. **Comfort Vibration Analysis on Ride Vehicles**. 2010. 22f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

## **ABSTRACT**

Actually, the use of ride vehicles has grown. So, it is extremely important that these vehicles propitiate well-being to the driver and their passengers. The study aims to determine the degree of driver's comfort in relation to vibration by measurements performed on four vehicles of the same category available in Brazil. Namely: Volkswagen Gol, Ford Fiesta, Renault Sandero and Fiat Palio. The type of pavement, speed and location of measurement are elected as conditions for comparison. In order to measure the level of vibration transmitted to the hand-arm system and the vibration transmitted to the whole body, accelerometers are attached to contact parts of the drivers with the vehicle. For hand-arm and whole body measurements, the steering wheel and driver's seat are chosen respectively. Also, for the situation of professional drivers it is evaluated the daily exposure to vibration A(8) for different work situations, which is compared with the exposure limits defined by current standards. A statistical study was carried out to demonstrate the influence of parameters such speed and type of pavement, to vibration inside the vehicle. According to the comfort analysis, it is verified, in average, that the Volkswagen Gol, has lower vibration levels than the other vehicles, followed by Ford Fiesta, Renault Sandero and Fiat Palio. In terms of human exposure to vibration, it is clear that for certain conditions, vibrations may exceed the exposure limits prescribed by standards.

**KEYWORDS:** Mechanical instrumentation, Vehicle comfort, Daily exposure to vibration, Vibration transmitted to the whole body, Vibration transmitted to hand-arm system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Curvas de ponderação por frequência $W_k$ e $W_d$ para vibração corpo inteiro, incluindo filtro de banda (Fonte: ISO 2631-1:1997).....	3
Figura 2.2 - Sistema de coordenadas basicêntrico adotado para vibração (a) mão-braço e (b) corpo inteiro (Fonte: ISO 5349-1:2001 e ISO 2631-1:1997) .....	4
Figura 2.3 – Limites para fadiga, saúde e conforto <i>versus</i> frequência para o eixo z ( $m/s^2$ ) (Fonte: BALBINOT, 2001).....	5
Figura 2.4 - Limites de tempo exposição diária em função da aceleração ponderada pela frequência para corpo inteiro (Fonte: ISO 2631-1:1997).....	7
Figura 2.5 - Medidor VI400-Pro e transdutores utilizados nas medições .....	7
Figura 2.6 - Corte do <i>seatpad</i> conforme projeto da SAE (Fonte: GRIFFIN, 1990).....	8
Figura 2.7- Modelos dos veículos utilizados nas medições.....	9
Figura 2.8 - Acoplamento dos respectivos transdutores no volante, assento e encosto juntamente com o sistema de coordenadas adotado. ....	9
Figura 2.9 - Pavimento de asfalto e paralelepípedos utilizados nas medições .....	10
Figura 3.1 - Análise do conforto em asfalto em diferentes locais de medição/velocidades.....	11
Figura 3.2 - Análise do conforto em paralelepípedos em diferentes locais de medição/velocidades.....	11
Figura 3.3 - Análise do conforto em veículos parados .....	12
Figura 3.4 - Médias totais das acelerações rms em relação aos pavimentos .....	12



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 – Curvas de ponderação e fatores de multiplicação utilizados nas medições.....	4
Tabela 2.2 - Escala de desconforto da norma ISO-2631-1:1997 (Fonte: ISO-2631-1:1997).....	5
Tabela 2.3 - Valores de referência VAE e VLE utilizados nas avaliações .....	7
Tabela 2.4 - Características dos veículos medidos .....	8
Tabela 3.1 – Rotinas (tempo em horas) propostas a um motorista profissional.....	13

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT .....	iv
LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
SUMÁRIO.....	vii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. DESENVOLVIMENTO .....	1
2.1. Revisão bibliográfica .....	1
2.1.1. Definição de vibração .....	1
2.1.2. Avaliação da exposição humana à vibração .....	2
2.1.3. Metodologia de avaliação .....	2
2.1.4. Metodologia de avaliação do conforto quanto à vibração .....	5
2.1.5. Metodologia de avaliação da saúde quanto à vibração.....	6
2.2. Avaliação objetiva do conforto vibracional.....	7
2.2.1. Equipamentos de medição .....	7
2.2.2. Modelos dos veículos .....	8
2.2.3. Instrumentação dos veículos.....	9
2.2.4. Tipos de pavimentos avaliados .....	10
2.2.5. Velocidades avaliadas.....	10
3. RESULTADOS E ANÁLISES.....	10
3.1. Da avaliação do conforto quanto à vibração.....	10
3.2. Da avaliação da saúde quanto à vibração .....	13
3.3. Da análise de variância .....	14
4. CONCLUSÕES .....	15
REFERÊNCIAS .....	16
APÊNDICES .....	18
ANEXOS .....	21

## 1. INTRODUÇÃO

Hoje em dia, com o mercado automobilístico em plena expansão há cada vez mais interesse por automóveis, sendo este o meio de transporte mais atrativo para o homem e de maior utilidade no dia a dia. O número de veículos em circulação vem aumentando proporcionalmente com o aumento da população. Devido a este fato, é de suma importância que estes veículos propiciem bem-estar ao motorista e a seus passageiros.

Inúmeras revistas e matérias automotivas buscam informar a população quais dos veículos produzidos proporcionam ao usuário melhores condições de uso. Dentre as características avaliadas pode-se evidenciar o consumo de combustível, aceleração de 0-100 km/h, potência e conforto, sendo este, um dos critérios mais importantes para se medir a qualidade de um veículo exposto a diferentes tipos de vibrações (MAIA, 2002).

Porém, na maioria das avaliações de conforto provenientes destas publicações, não é estabelecido nenhum critério, ou dados palpáveis nos quais comprovem qual dos veículos em questão propiciam um melhor nível de conforto ao motorista. Sendo, de suma importância, um estudo na área de conforto automotivo decorrente de vibrações, uma vez que as vibrações são manifestações de comportamento dinâmico comum a todos os veículos.

O presente trabalho trata-se de um estudo de medição de vibrações em diferentes condições, como pavimentação (asfalto e paralelepípedos) e velocidade, em quatro veículos de mesma categoria de diferentes montadoras disponíveis no mercado automotivo brasileiro. As medições de vibração foram realizadas no volante, assento e encosto dos respectivos veículos. Tendo como objetivo geral obter dados suficientes para avaliar qual dos veículos testados pode ser considerado o mais confortável em termos da transmissão da vibração ao motorista. Podendo, desta forma, avaliar a exposição humana à vibração no volante transmitida ao sistema mão-braço e ao corpo inteiro, decorrente da vibração do encosto e do assento dos respectivos veículos.

Além disso, este estudo apresenta os seguintes objetivos:

- Avaliar entre as configurações medidas, se a exposição diária à vibração ultrapassa os limites indicados pelas normas vigentes, verificando se estas podem ser fontes de possíveis danos à saúde do motorista no caso de uso intensivo como meio de trabalho.
- Avaliar estatisticamente a influência da vibração transmitida ao motorista, em função da magnitude da velocidade dos veículos e do tipo de pavimento.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1.1. Definição de vibração

Uma vibração pode ser descrita por um histórico da posição, da velocidade ou da aceleração de um corpo. Sendo, mais comum quantificá-la através da aceleração. De acordo com Fernandes (2000 apud SAVIONEK, 2010), um corpo é dito em vibração quando ele descreve um movimento oscilatório em torno de um ponto de referência. O número de vezes de um ciclo completo do movimento, durante o período de um segundo, é chamado de frequência, medido em ciclos por segundo ou Hertz (Hz).

Becker (2006) afirma que a vibração está presente em qualquer sistema mecânico que se mova, diferindo de um sistema para outro apenas em nível e conteúdo espectral. Dentro destes sistemas mecânicos tem-se como referência o corpo humano, no qual sua vibração pode ser definida como toda ou qualquer produzida por um evento externo, atuando no corpo, como

por exemplo, quando o corpo está sobre uma superfície que está vibrando (BALBINOT, 2001).

A representação de um sinal de vibração pode ser visualizada de diferentes formas. Os gráficos mais usuais são: amplitude de vibração x tempo e amplitude de vibração x frequência, sendo este denominado de espectro de frequência. Diferentes tipos de movimentos oscilatórios apresentam espectros de frequência com características diferentes. Podendo ser espectros discretos, decorrentes de sinais contínuos determinísticos (periódicos), ou espectros contínuos decorrentes de sinais contínuos randômicos ou de sinais transientes.

Podemos identificar outros parâmetros em um sinal vibratório, tais como valor de pico, valor pico-a-pico, fatores de forma e de crista e valor rms (*root mean square*). Sendo o valor rms o de maior importância, pois de acordo com Fernandes (2000), possibilita avaliar a média de energia contida no movimento oscilatório, mostrando o potencial de dano da vibração, sendo a medida mais importante de um sinal ou de um movimento e tendo relação direta com a energia contida na onda. Para uma função variável contínua  $f(t)$  definida sobre o intervalo de tempo  $T_1 \leq t \leq T_2$ , o seu valor rms é dado pela expressão:

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

### 2.1.2. Avaliação da exposição humana à vibração

A exposição humana à vibração é classificada, de acordo com as suas particularidades, em:

- Vibrações de corpo inteiro: são as vibrações que atingem o corpo todo, mais particularmente em uma faixa de frequência de 1 a 80 Hz.
- Vibrações das extremidades: são as vibrações transmitidas às mãos e aos braços, em uma faixa de frequência de 6,3 a 1250 Hz.

Vale lembrar, que no presente trabalho há uma exposição simultânea aos dois tipos de vibração. Ao corpo inteiro, referente ao movimento global do veículo e ao sistema mão-braço transmitido pelo volante do mesmo.

Sendo assim, a necessidade de padronizar e avaliar estas vibrações originaram diversas normas. As mais importantes normas internacionais são as normas ISO (*International Organization for Standardization*) e as normas européias.

### 2.1.3. Metodologia de avaliação

Tanto para avaliação do conforto devido à vibração, quanto para a saúde, deve-se seguir uma metodologia baseada em normas. Neste trabalho são utilizadas duas normas diferentes. A ISO 5349-1:2001 utilizada para avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço, neste caso, contemplando a análise do volante dos veículos. E ainda, para análise de vibração no assento e no encosto, é utilizada a norma ISO 2631-1:1997 na qual é caracterizada pela avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro.

De acordo com Griffin (1990), a forma mais comum de se quantificar a vibração é através da aceleração. Sendo assim, ambas as normas adotadas, utilizam a aceleração rms para caracterizar as vibrações. Porém, Becker (2006) explica que as formas diretas de quantificar o movimento oscilatório, baseadas no valor rms, não levam em conta os possíveis efeitos de frequência. Sinais medidos de vibração com conteúdo espectral diferente podem ter valores idênticos para diferentes parâmetros (média, rms, etc.), no entanto seu efeito no corpo humano pode ser completamente diferente (WALBER, 2009). Para corrigir esse problema foram

idealizadas curvas de ponderação ou compensação para medições de movimentos oscilatórios do corpo. Estas curvas são função da frequência e são utilizadas como um fator que atribui pesos diferentes para movimentos com frequências diferentes. Tendo como objetivo qualificar as vibrações nas frequências em que o corpo humano apresenta maior sensibilidade. O resultado desta ponderação é a obtenção de um valor definido, denominado aceleração rms ponderada pela frequência  $a_w$ , em  $m/s^2$ . A aceleração  $a_w$ , é dada pela equação (2):

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

onde  $W_i$  é o fator de ponderação e  $a_i$  é a aceleração rms para as dadas frequências.

A figura abaixo apresenta as curvas de ponderação por frequência  $W_k$  e  $W_d$ , utilizadas em diferentes casos na avaliação da exposição à vibração transmitida ao corpo inteiro. Na tabela 2.1 pode-se visualizar em quais casos estas curvas são empregadas.

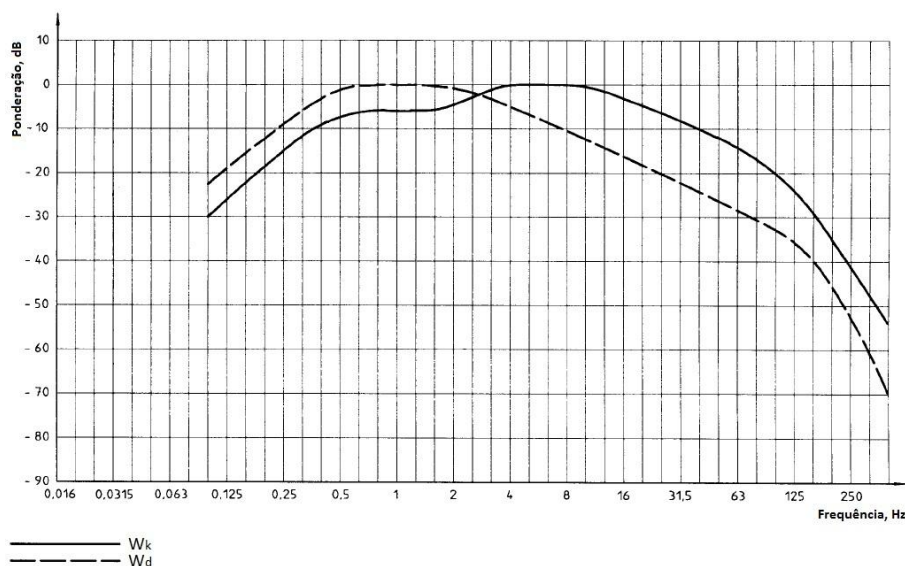


Figura 2.1 - Curvas de ponderação por frequência  $W_k$  e  $W_d$  para vibração corpo inteiro, incluindo filtro de banda (Fonte: ISO 2631-1:1997).

Demais curvas de ponderação aplicadas neste trabalho podem ser visualizadas nas referidas normas ISO. Porém em todas as curvas utilizadas, observa-se que as faixas de frequência mais prejudiciais ao corpo humano são justamente aquelas que possuem um maior fator de ponderação.

Devido ao fato da medição da vibração ser realizada seguindo um sistema de coordenadas tri-axial, deve ser obtido, para cada um dos eixos x, y e z, um valor de aceleração rms ponderada pela frequência, representados por  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  e  $a_{wz}$ , dados em  $m/s^2$ . Além disso, são utilizados fatores de multiplicação  $k_i$ , nos quais tem como objetivo atribuir pesos para os diferentes eixos de coordenadas de acordo com a medição realizada. Fato que se justifica, pois segundo Griffin (1990), a vibração em diferentes frequências ou em diferentes eixos, podem produzir diferentes sensações em diferentes partes do corpo. Ainda, vale citar, que pela grande quantidade de dados experimentais na direção z, utiliza-se um fator de ponderação de 1,0 para os casos de análise de saúde. Para outras direções, por falta de dados experimentais e informações, utiliza-se o fator 1,4 por questões de segurança. Com estes valores, através da soma dos quadrados da aceleração de cada componente multiplicados pelo quadrado do fator de multiplicação específico, obtém-se a vibração total  $a_v$ , em  $m/s^2$ , conforme:

$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad (3)$$

onde  $k_x$ ,  $k_y$  e  $k_z$  são os fatores de multiplicação aplicados à seus respectivos eixos.

Ainda, para casos onde a exposição à vibração consiste em dois ou mais períodos de exposição para diferentes durações e magnitudes de vibração, calcula-se a vibração total equivalente  $a_{v,e}$  correspondente a duração total de exposição, de acordo com a equação (4):

$$a_{v,e} = \left[ \frac{\sum a_{vi}^2 T_i}{\sum T_i} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

onde  $a_{vi}$  é a vibração total para a duração da exposição  $T_i$ .

Na tabela abaixo, pode-se visualizar as diferentes curvas de ponderação e fatores de multiplicação empregados nas medições, tendo como referência as normas ISO 2631-1:1997 e ISO 5349-1:2001:

Tabela 2.1 – Curvas de ponderação e fatores de multiplicação utilizados nas medições.

		Mão-braço (volante)			Corpo inteiro (assento)			Corpo inteiro (encosto)		
		eixo x	eixo y	eixo z	eixo x	eixo y	eixo z	eixo x	eixo y	eixo z
Curva de ponderação	saúde	$W_h$	$W_h$	$W_h$	$W_d$	$W_d$	$W_k$	$W_d$	$W_d$	$W_k$
	conforto	$W_h$	$W_h$	$W_h$	$W_d$	$W_d$	$W_k$	$W_c$	$W_d$	$W_d$
Fator multiplicador (k)	saúde	1,0	1,0	1,0	1,4	1,4	1,0	1,4	1,4	1,0
	conforto	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,5	0,4

Observa-se ainda que as variáveis em questão podem ser empregadas para diferentes situações. Dependendo se a avaliação da exposição humana à vibração está vinculada ao conforto ou à saúde, ou ainda ao diferente local de medição, onde os fatores de multiplicação devem ser observados.

Como observado na equação (3), as vibrações transmitidas ao corpo humano devem ser medidas em três direções, tanto para medições de vibrações referentes ao corpo inteiro, quanto para o sistema mão-braço, de acordo com um sistema de coordenadas ortogonal. Na figura 2.2, pode-se visualizar o sistema de coordenadas adotado de acordo com as duas normas utilizadas. Cabe frisar, que ambas as normas utilizam o sistema de coordenadas basicêntrico, no qual a vibração é medida seguindo um sistema de coordenadas originado em um ponto onde a vibração está entrando no corpo.

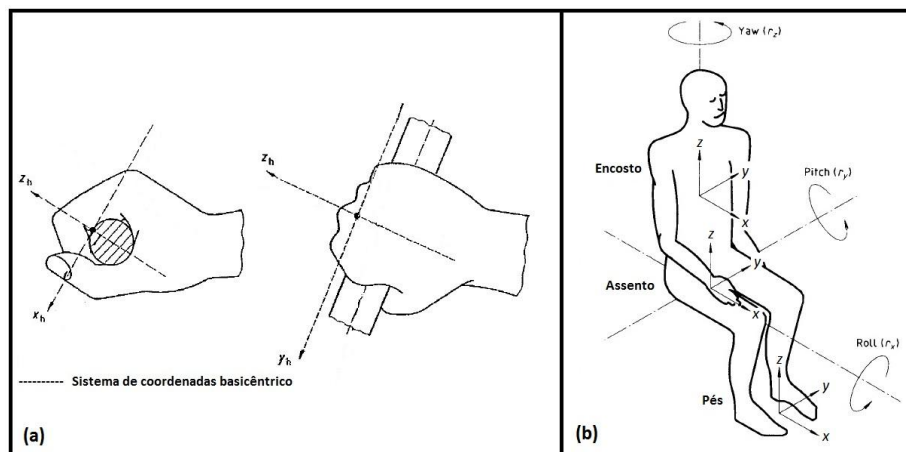


Figura 2.2 - Sistema de coordenadas basicêntrico adotado para vibração (a) mão-braço e (b) corpo inteiro (Fonte: ISO 5349-1:2001 e ISO 2631-1:1997).

### 2.1.4. Metodologia de avaliação do conforto quanto à vibração

Em geral, os limites de conforto ou desconforto em um passageiro ou motorista de um veículo são difíceis de determinar devido a variação da sensibilidade de cada um para com a vibração (Wong, 2001). Porém, a norma ISO 2631 de 1978 estabelece alguns critérios para avaliação do conforto devido à vibração. O gráfico apresentado na figura abaixo pode ser utilizado para limitar o tempo de exposição à vibração para determinadas frequências relacionando fadiga, conforto e saúde na direção z. Gráficos para direções x e y também podem ser utilizados. Com as acelerações rms obtidas, para verificar se os limites de conforto são ultrapassados, devem-se colocar os valores de aceleração para a faixa de frequência de 1 a 80 Hz e verificar, se estes, ultrapassam os limites estabelecidos pela norma.

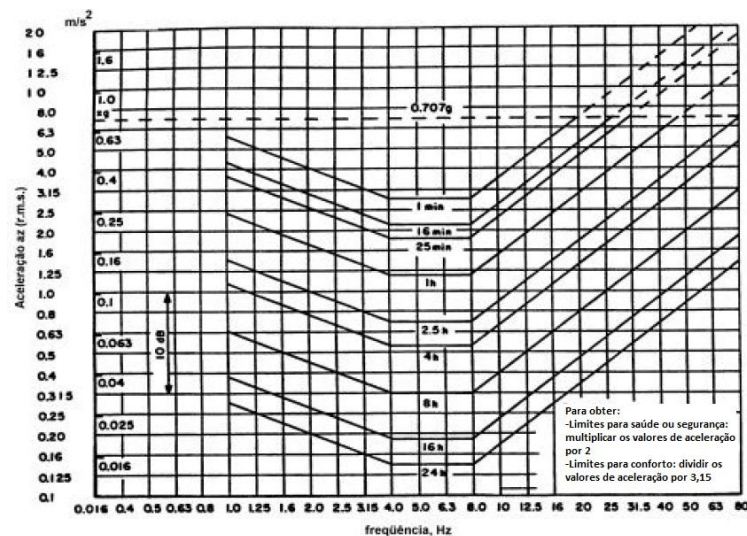


Figura 2.3 – Limites para fadiga, saúde e conforto *versus* frequência para o eixo z ( $m/s^2$ ) (Fonte: BALBINOT, 2001).

Porém, opta-se em utilizar os valores de aceleração rms ponderados pela frequência nos três eixos de coordenadas obtidos através das equações (2) e (3) com diferentes curvas de ponderação e fatores multiplicadores visualizados na tabela 2.1, obtendo assim um valor único para fins de comparação seguindo a recomendação da mesma norma de 1997. A norma ISO 2631-1:1997 fornece os seguintes valores de aceleração rms ponderadas pela frequência como uma indicação das reações com relação ao conforto:

Tabela 2.2 – Escala de desconforto da norma ISO-2631-1:1997 (Fonte: ISO-2631-1:1997).

Índice de Conforto	Escala
Menor do que 0,315 $m/s^2$	Confortável
0,315 – 0,63 $m/s^2$	Levemente confortável
0,5 – 1 $m/s^2$	Pouco confortável
0,8 – 1,6 $m/s^2$	Desconfortável
1,25 – 2,5 $m/s^2$	Muito desconfortável
Maior do que 2,0 $m/s^2$	Extremamente desconfortável

Vale citar, que a referida norma para o sistema mão-braço não quantifica em qualquer momento, valores para análise de conforto. Sendo assim, o presente trabalho utiliza as mesmas metodologias presentes na norma do corpo inteiro para verificar o conforto dos veículos apenas como critério de comparação entre os mesmos e não para avaliar o nível de conforto transmitido ao sistema mão-braço.

### 2.1.5. Metodologia de avaliação da saúde quanto à vibração

A única norma atualmente vigente no Brasil para fins de avaliação da saúde quanto a vibração é a Norma Regulamentadora N° 15 (NR 15). Na qual em seu Anexo N° 8 indica que todos seus limites de exposição à vibração são definidos pelas normas ISO 2631 e ISO 5349.

De acordo com Palmer et al. (2000) a vibração é apontada como um dos riscos ocupacionais mais comuns na indústria, e também está diretamente ligada à incidência de dores nas costas em motoristas profissionais. Além disso, a utilização de veículos a motor parece representar um risco significativo quando correlacionado ao surgimento de problemas nas costas (WHITE et al., 1990).

Sendo assim, além da análise e avaliação do conforto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a exposição humana à vibração verificando se estas podem ser fontes de possíveis danos à saúde do motorista. Para avaliação, deve-se levar em consideração a duração diária de exposição  $T$ , em h, sendo o tempo total em que o indivíduo fica exposto à determinada situação durante um dia.

A exposição diária à vibração  $A(8)$ , em  $m/s^2$ , é definida como:

$$A(8) = a_{v,e} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (5)$$

onde  $a_{v,e}$  é a vibração total equivalente em  $m/s^2$  dada pela equação (4), sendo que, para casos onde haja apenas um período de exposição,  $a_{v,e}$  pode ser substituído por  $a_v$ , definido como a aceleração ponderada combinada nos três eixos dada pela equação (3), e  $T_0$  é uma duração de referência de 8 horas. Esse tempo de referência  $T_0$  é adotado a fim de facilitar comparações entre exposições diárias à vibração de diferentes durações. A exposição diária à vibração  $A(8)$  pode ser entendida como um valor total da aceleração (vibração) ponderado pela frequência, equivalente a 8 horas de exposição diária.

Para poder avaliar se o nível de vibração está ou não sendo prejudicial à saúde, há valores limites para exposição diária à vibração ( $A(8)$ ), os quais são utilizados como referência para analisar se os resultados obtidos estão ou não sendo prejudiciais à saúde. Um destes limites pode ser denominado como VAE (valor de ação de exposição diária – *exposure action value*) no qual, como o próprio nome diz, para valores acima deste limite, há a necessidade de medidas que visem a diminuição ou a eliminação dessa exposição, porém sem um grau de preocupação muito elevado. O outro limite é VLE (valor limite de exposição diária – *exposure limit value*), sendo que, para valores acima deste limite, há a necessidade de medidas imediatas para sua diminuição, pois há potencial risco à saúde. Na figura 2.4 verificam-se os limites de aceleração ponderada em função do tempo de exposição adotados pela norma ISO 2631-1:1997.

A norma possui a opção de utilizar duas equações para obter estes limites, verificados por dois tipos de marcações no gráfico. Porém, neste trabalho, utiliza-se a equação onde os limites de exposição resultam em valores menores, em função da segurança. Para obter os valores de VAE e VLE, basta visualizar no eixo das abscissas a duração de exposição de 8 horas, e projetá-los no eixo das ordenadas, podendo ser visualizado pelas linhas vermelhas da figura 2.4. Com a projeção destas linhas obtêm-se os valores utilizados.

Para a norma vigente para o sistema mão-braço, não é estabelecido limites de exposição à vibração. Assim, de modo a obter valores comparativos, utilizam-se os valores presentes na norma da União Européia (Diretiva 2002/44/EC) como referência de valores para o sistema mão-braço.



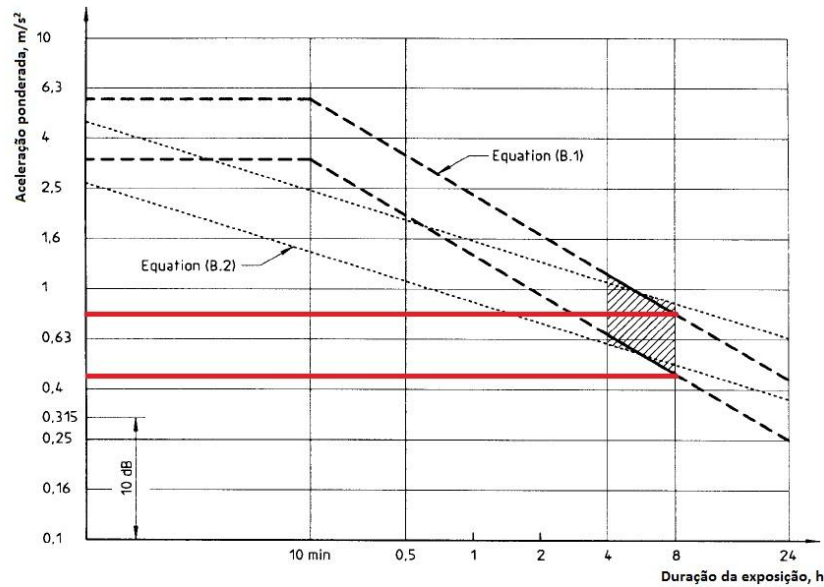


Figura 2.4 – Limites de tempo exposição diária em função da aceleração ponderada pela frequência para corpo inteiro (Fonte: ISO 2631-1:1997).

Sendo assim, os valores de ação de exposição diária (VAE) e limite de exposição diária (VLE) utilizados podem ser visualizados na tabela abaixo:

Tabela 2.3 – Valores de referência VAE e VLE utilizados nas avaliações.

Valores de referência (m/s <sup>2</sup> )		
	VAE	VLE
Mão-braço (Diretiva 2002/44/EC)	2,5	5,0
Corpo inteiro (ISO 2631-1:1997)	0,43	0,88

Os valores mostrados na tabela 2.3, correspondem aos limites de exposição diária à vibração A(8), definida de acordo com a metodologia de avaliação.

## 2.2. AVALIAÇÃO OBJETIVA DO CONFORTO VIBRACIONAL

### 2.2.1. Equipamentos de medição

As medições de vibração nos veículos foram realizadas por intermédio de um equipamento específico, trata-se do VI-400Pro, S/N 12430, no qual consiste em um analisador de vibração portátil. Além de medir estas vibrações o equipamento é capaz de armazenar os dados em uma memória interna com capacidade de 32 Mb. O aparelho é capaz de medir quatro canais de entrada simultaneamente, sendo três, utilizados para medir a vibração nos três eixos de coordenadas. Pode-se visualizar no anexo B, a declaração de conformidade do aparelho. Na figura abaixo observa-se o aparelho em questão.



Figura 2.5 – Medidor VI400-Pro e transdutores utilizados nas medições.

É evidente, que juntamente com uso do aparelho, deve-se utilizar transdutores, posicionados em locais onde está ocorrendo a vibração. Transdutores que tem como objetivo transformar a vibração em um sinal elétrico, dado em mV, a fim de possibilitar a leitura. Para vibrações medidas no encosto e no assento, utilizou-se um dispositivo do tipo *seatpad*, em formato de um disco flexível de material semi-rígido padronizado, no qual tem o papel de não alterar as propriedades dinâmicas da interface do corpo e do banco, além de mover juntamente com toda a estrutura. Neste caso trata-se de um *seatpad* modelo 070-030, S/N 646, com um acelerômetro tri-axial de sensibilidade nominal de 100,3 mV/g em cada um de seus eixos. Na figura abaixo pode-se visualizar o corte do referido transdutor no qual está em acordo com o projeto original da SAE (*Society of Automotive Engineers*).



Figura 2.6 – Corte do *seatpad* conforme projeto da SAE (Fonte: GRIFFIN, 1990).

Para medidas de vibração no volante emprega-se um acelerômetro piezoelétrico tri-axial Dytran, modelo 3023A2, S/N 4147. Possuindo uma sensibilidade nominal de 10mV/g para cada um dos seus eixos x, y e z. Ambos os certificados de calibração dos acelerômetros encontram-se no anexo A.

O aparelho conta ainda com a ajuda de um software de processamento, o *QuestSuite Professional II*. Com ele, é possível calibrar o instrumento, a fim de definir quais curvas de ponderação serão empregadas, eixos de coordenadas utilizados, dentre outros parâmetros. Além disso, o software possui um recurso de pós processamento de dados, onde os dados armazenados pelo equipamento são transferidos a um microcomputador, permitindo a posterior análise dos valores obtidos.

### 2.2.2. Modelos dos veículos

Realizaram-se as medições em quatro veículos nacionais da mesma categoria. Todos os veículos medidos possuindo direção hidráulica e se enquadrando na mesma classe, com motores de 1,0 litro. São eles: Volkswagen Gol, Renault Sandero, Ford Fiesta e Fiat Palio. Na tabela a seguir, observa-se as principais características de cada veículo.

Tabela 2.4 – Características dos veículos medidos.

Característica	Volkswagen Gol	Renault Sandero	Ford Fiesta	Fiat Palio
Pressão dos pneus frontais	30 psi	29 psi	30 psi	27 psi
Pressão dos pneus traseiros	30 psi	29 psi	30 psi	27 psi
Diâmetro da roda	14"	14"	14"	14"
Especificação do pneu	175/70	185/70	185/70	185/65
Massa total	934 kg	1025 kg	1076 kg	940 kg
Potência do motor G/A	72/76 cv	76/77 cv	71/73 cv	65/66 cv
Ano de fabricação	2009	2009	2008	2007
Ano modelo	2010	2009	2008	2008

É importante ressaltar que todos os veículos testados encontravam-se em plenas condições de uso, e que todas as suas características tais como pneus e rodas, foram mantidas originais. Ainda, os pneus de cada modelo foram calibrados pelo mesmo instrumento, e de acordo com as recomendações de pressão de cada fabricante. Destaca-se que, durante a realização das medições, todos os carros foram conduzidos pelo mesmo motorista de massa igual a 77 kg, acompanhado de um passageiro, a fim de manter a padronização dos testes.

Pode-se visualizar, conforme as características citadas na tabela 2.4, que apesar dos veículos se enquadrarem na mesma categoria, possuem algumas diferenças, tais como a massa total, especificações do pneu e potência do motor. Na figura 2.7 visualizam-se os quatro modelos de veículos utilizados nas medições.



Figura 2.7 - Modelos dos veículos utilizados nas medições.

### 2.2.3. Instrumentação dos veículos

A instrumentação foi realizada através de dois tipos de acelerômetros. Um acelerômetro fixado no volante, sendo de extrema importância ser posicionado próximo da empunhadura da mão, e bem fixado à estrutura como recomenda a ISO 5349. As medições no assento e no encosto foram realizadas através de um *seatpad*, este posicionado na interface do motorista com a superfície vibrante, tanto para a região do encosto quanto para região do assento. Cabe frisar que cada medição foi realizada isoladamente tendo um tempo de duração de aproximadamente 60 segundos em cada condição e local estabelecidos.

Destaca-se ainda, a importância do correto local de posicionamento dos transdutores, em concordância com a norma utilizada. Sendo que na superfície do assento o mesmo deve estar posicionado abaixo do cóccix e no encosto, na área de sustentação principal das costas. Há a necessidade de que ambos os transdutores estejam em um alinhamento com relação aos eixos determinados, sendo que a norma permite uma tolerância angular de até 15°. A figura 2.8 apresenta os locais de acoplamento dos transdutores, juntamente com o sistema de coordenadas adotado.



Figura 2.8 – Acoplamento dos respectivos transdutores no volante, assento e encosto juntamente com o sistema de coordenadas adotado.

#### 2.2.4. Tipos de pavimentos avaliados

Dois tipos de pavimentação foram escolhidos para realização dos testes: pavimentação de asfalto e de paralelepípedos. A pavimentação de asfalto onde os testes foram realizados se localiza na Avenida A.J Renner em Porto Alegre, tendo como característica ser uma superfície de rolamento lisa, porém, com algumas irregularidades decorrentes do desgaste excessivo e falta de manutenção, cenário muito comum nas vias desde país.

A pavimentação de paralelepípedos, localizada na Rua José Pedro Boéssio, na mesma cidade, apresenta uma superfície com constantes interrupções, devido ao fato das pequenas dimensões de cada paralelepípedo, possuindo um alto número de juntas ao longo da via, tornando a superfície rica em irregularidades. A figura 2.9 indica os dois tipos de pavimentos onde os testes foram realizados.



Figura 2.9 – Pavimento de asfalto e paralelepípedos utilizados nas medições.

#### 2.2.5. Velocidades avaliadas

Durante a realização das medições, estipularam-se faixas de velocidade, nas quais todos os veículos foram submetidos. Desenvolveram-se velocidades constantes de 30 km/h e 60 km/h marcadas no velocímetro de cada veículo em ambos os pavimentos anteriormente citados. Valores estes, que se justificam, devido ao fato de serem faixas de velocidade comumente desenvolvidas em meios urbanos.

Ainda estipulou-se a velocidade de 0 km/h. Sendo realizada com o veículo parado, apenas captando vibrações decorrentes do funcionamento do motor em marcha lenta e dos demais componentes do automóvel. Condição esta, que tem como objetivo simular os frequentes congestionamentos e paradas em sinais de trânsito, característico de cidades com elevada densidade populacional e alto número de veículos. O trabalho limita-se a utilizar apenas três valores de velocidade devido ao grande número de medições realizadas em diferentes condições e locais.

### 3. RESULTADOS E ANÁLISES

#### 3.1. DA AVALIAÇÃO DO CONFORTO QUANTO À VIBRAÇÃO

Nas figuras a seguir, podem ser visualizados os resultados da avaliação do conforto obtidos, através de gráficos comparativos entre os modelos de veículos. Através da equação (3) utilizam-se as acelerações medidas em cada eixo do sistema de coordenadas. E empregando as corretas curvas de ponderação e fatores de multiplicação apresentados na tabela 2.1, calcula-se a aceleração rms ponderada pela frequência nos três eixos  $a_v$ , dado em  $m/s^2$ .

De acordo com os gráficos, pode-se visualizar a magnitude da aceleração em função de duas faixas de velocidade (30 e 60 km/h). Os gráficos apresentados pelas figuras 3.1 e 3.2

representam a análise do conforto no pavimento de asfalto e de paralelepípedos, respectivamente.

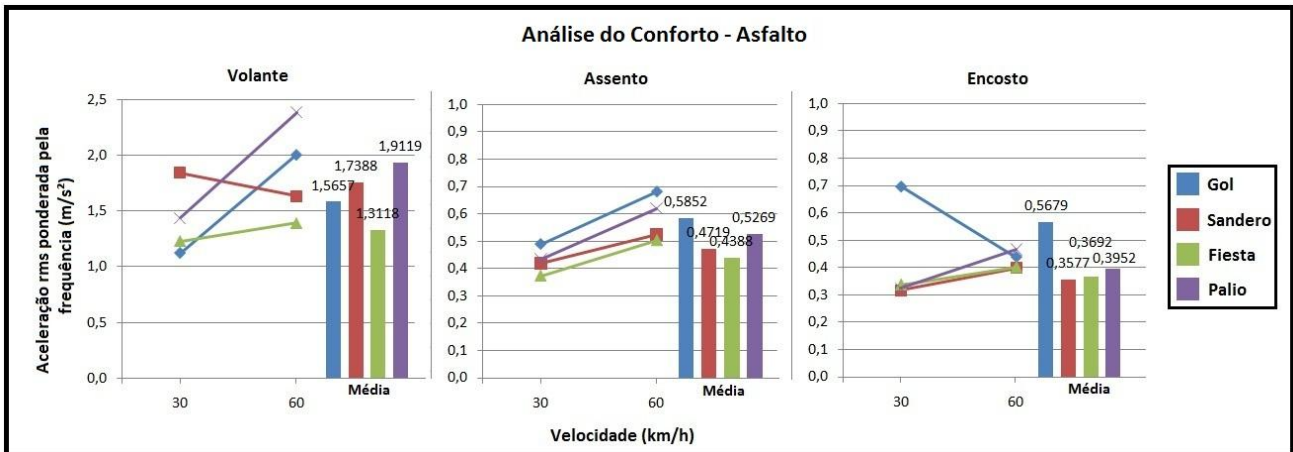


Figura 3.1 – Análise do conforto em asfalto em diferentes locais de medição/velocidades.

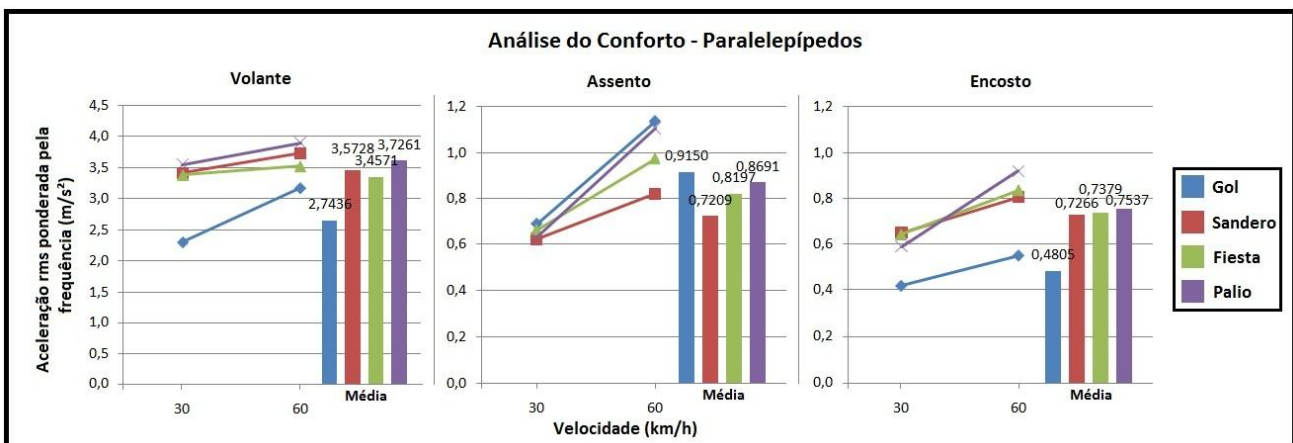


Figura 3.2 – Análise do conforto em paralelepípedos em diferentes locais de medição/velocidades.

Cada gráfico é separado por local de medição, possuindo no eixo das abscissas a velocidade desenvolvida pelos veículos, e no eixo das ordenadas a vibração total, dada em  $m/s^2$ . Vale observar, que no gráfico de medições no volante, em ambos os pavimentos, verifica-se uma escala maior no eixo vertical, indicando previamente uma magnitude de vibração mais elevada neste local, em comparação com os demais. Verificando-se que os componentes presentes no banco dos veículos tais como molas e espuma são muito importantes, possuindo grande influência na diminuição da vibração transmitida ao ocupante. Percebe-se também que independentemente do local de medição, a vibração originada no pavimento de paralelepípedo é superior em comparação com o asfalto.

A cada veículo, atribuiu-se uma cor de linha específica, podendo ser visualizado na legenda ao lado direito das figuras. Sendo que cada ponto representa uma medição. Nas linhas que ligam os pontos, pode-se visualizar que na grande maioria dos casos, o nível de desconforto, ou seja, a aceleração rms aumenta com o acréscimo da velocidade, independente do pavimento ou local de medição. As barras à direita de cada gráfico representam a média aritmética do local da medição para cada carro referente às duas velocidades analisadas.

Avaliando isoladamente cada caso, verifica-se pelos gráficos a diferença de comportamento de cada veículo referente às mudanças de pavimento e local de medição. Como por exemplo, o Ford Fiesta, que em alguns casos apresentou níveis de conforto

superiores comparado com os demais veículos (volante e assento no asfalto), porém em outros locais de medição e pavimentos não manteve o mesmo comportamento.

No gráfico apresentado na figura 3.3, visualiza-se a aceleração medida em cada local de medição e veículo, considerando que o mesmo esteja parado, sem qualquer deslocamento, apenas com o funcionamento do seu motor em marcha lenta e demais componentes. Tendo como principal objetivo avaliar o conforto dos veículos simulando as frequentes paradas em congestionamentos comuns em meios urbanos.

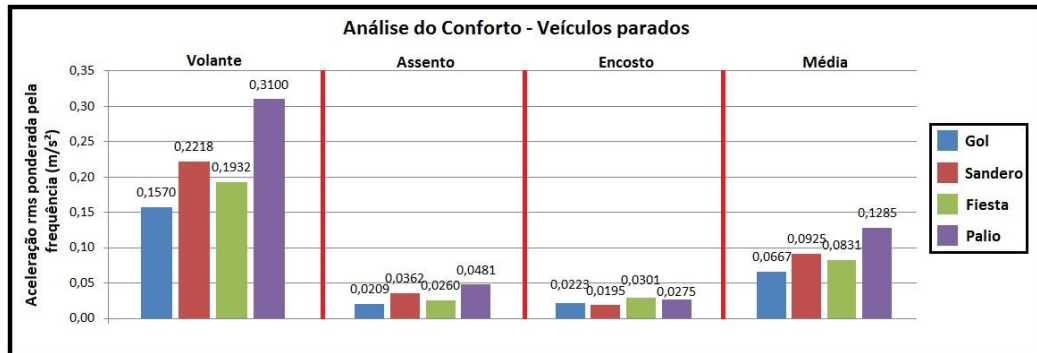


Figura 3.3 – Análise do conforto em veículos parados.

O gráfico da figura 3.3 é dividido por linhas vermelhas nos quais separam o local de medição, sendo que cada cor de barra representa um veículo específico. Além disso, as barras da extremidade direita fornecem a aceleração média de cada automóvel referente aos três locais de medição. Visualizando os valores apresentados no gráfico acima, e comparando-os com a escala de desconforto da tabela 2.2, todos os veículos podem ser considerados confortáveis nesta situação, de acordo com a norma ISO 2631-1:1997.

Percebe-se que em vibrações no volante e no assento, o Volkswagen Gol apresenta valores de aceleração menores, podendo-se atribuir um nível de conforto mais elevado para a dada condição. Ainda, de um modo geral, apresentou níveis de vibração inferiores que os demais veículos, tendo uma aceleração média decorrente dos três locais de medição no valor de  $0,0667 \text{ m/s}^2$ , uma diferença de 92,6 % em comparação com o Fiat Palio, o pior colocado.

A figura 3.4 a seguir, apresenta as médias de aceleração de todos os locais de medição e velocidade com relação aos pavimentos, em função de cada veículo, numa tentativa de comparar de forma global o desempenho de cada um deles. Como nos gráficos anteriormente citados, os veículos são representados pela legenda de cores. As barras localizadas na extremidade esquerda representam a média aritmética de todas as medições realizadas no pavimento de asfalto, sendo cada barra representando a média de cada veículo. Na região central encontra-se a média realizada no paralelepípedo, e na extremidade direita, a média total de aceleração, englobando todas as medições realizadas em cada automóvel.

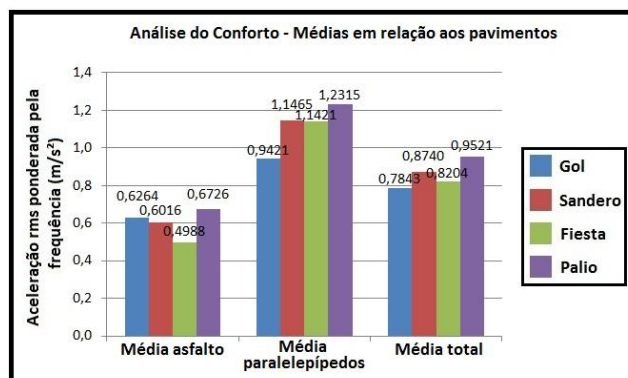


Figura 3.4 – Médias totais das acelerações rms em relação aos pavimentos.

Visualizando a média geral, nota-se que apesar do Ford Fiesta apresentar resultados favoráveis na superfície de rolamento lisa, o Volkswagen Gol apresentou um melhor nível de conforto quando referido a todas as medições. Ainda, destaca-se o Fiat Palio, no qual obteve valores de aceleração mais elevados em ambos os pavimentos, comportamento semelhante à análise anterior.

O bom senso indica que o nível de vibração no pavimento de paralelepípedos deve ser maior que o de asfalto. Fato que se comprova, pois visualizando a figura 3.4, nota-se que a média total de todos os locais de medição e de todos os veículos foram superiores no pavimento em questão. A diferença média em relação ao tipo de pavimento ficou em torno de 85,9 % levando em consideração as medidas realizadas em todos os veículos.

### 3.2. DA AVALIAÇÃO DA SAÚDE QUANTO À VIBRAÇÃO

Analisando os dados referentes ao conforto, e comparando-os com os valores de aceleração da escala de desconforto da norma ISO-2631-1:1997 visualizados na tabela 2.2, várias situações apresentaram dados que, de acordo com a norma, podem ser interpretados como valores de aceleração extremamente desconfortáveis. Sendo assim, verifica-se a necessidade de uma análise de exposição humana à vibração com foco na saúde, especialmente de motoristas profissionais, a fim de avaliar, se os presentes valores de aceleração podem ser prejudiciais à saúde destes com o uso dos referidos automóveis.

De posse da tabela 2.1, utilizam-se agora as curvas de ponderação e fatores multiplicadores referentes à saúde, de acordo com a norma ISO. Através da equação (3) calcula-se novamente a aceleração rms ponderada pela frequência ou vibração total, e em seguida calcula-se a vibração total equivalente, dado pela equação (4). Levando em consideração que um motorista profissional está exposto a diferentes magnitudes de vibração e tempos de exposição durante sua jornada de trabalho, simulou-se uma jornada de trabalho de 8 horas, por meio de diferentes rotinas, englobando as diferentes combinações de velocidades e pavimentos contidas no presente trabalho. Na tabela abaixo, pode-se verificar as três rotinas de trabalho propostas a um motorista profissional.

Tabela 3.1 – Rotinas (tempo em horas) propostas a um motorista profissional.

	Veículo desligado	0 km/h	30km/h Paralelepípedos	60 km/h Paralelepípedos	30km/h Asfalto	60 km/h Asfalto	tempo de exposição à vibração	Horas de trabalho diárias
Rotina A	1	1	0,25	0,25	2	3,5	7	8
Rotina B	0	1	0,5	0,5	2,5	3,5	8	8
Rotina C	1	1	2	3,5	0,25	0,25	7	8

Nota-se na tabela acima que cada rotina apresenta uma característica diferente. A rotina A apresenta uma maior utilização dos veículos no pavimento de asfalto, permanecendo ainda 1 hora com o veículo desligado, representando momentos ociosos. A rotina B apresenta características semelhantes à rotina A, porém sem qualquer pausa durante a jornada de trabalho, a fim de poder comparar a influência de um descanso em relação a exposição diária à vibração. Na rotina C, apresenta-se uma utilização muito maior no pavimento de paralelepípedos, com o objetivo de verificar se os resultados obtidos nesta condição apresentam valores superiores comparados ao pavimento de asfalto. Em todas as rotinas, estipulou-se uma hora por dia, com o veículo a 0 km/h, representando o motor ligado em marcha lenta, simulando possíveis congestionamentos e paradas em sinais de trânsito.

Obtendo este valor da vibração total equivalente através da equação (4), calcula-se conforme a equação (5), a exposição diária à vibração A(8). Sendo T, o tempo de exposição diária à vibração.

No apêndice B, são apresentados 3 gráficos, um para cada local de medição (volante, assento e encosto), comparando a exposição diária à vibração A(8), referente a cada veículo e a cada rotina proposta. As linhas horizontais representam o valor de ação da exposição (VAE) e o valor limite de exposição (VLE) em acordo com os valores apresentados na tabela 2.3. No eixo horizontal dos gráficos englobam-se todos os veículos, sendo que cada barra, representa uma rotina, e no eixo vertical, os valores de exposição diária à vibração A(8) correspondentes.

A partir dos gráficos, é possível visualizar que todas as medições realizadas no volante, para as rotinas A e B, as avaliações se encontraram abaixo dos valores de ação. Já para a rotina C, três veículos apresentaram valores acima do valor de ação, sendo que para esta situação há a necessidade de medidas que visem a diminuição ou eliminação desta exposição. Para as medições de vibração no assento, todas as rotinas propostas apresentaram valores acima do valor de ação (VAE) em todos os veículos. Situação semelhante ocorreu para medições no encosto, porém, em 3 veículos detectou-se valores acima do limite de exposição diária (VLE) para a rotina C, sendo que, com estes valores necessita-se uma medida imediata para sua diminuição, pois certamente, acarretará algum problema ao condutor para a dada condição em alguns anos, tais como dores lombares ou problemas na coluna vertebral. Vale lembrar, que cada local de medição foi analisado separadamente, um por vez, devido à limitação do instrumento.

Destaca-se a superioridade do valor de A(8) em todos os veículos na rotina C, fato já comprovado anteriormente, sendo que, esta rotina possui maiores tendências a transitar pelo pavimento de paralelepípedo. Outro fator importante que pode ser observado nos gráficos é a importância de uma pausa durante a jornada de trabalho, podendo ser visualizado pela diferença dos valores de exposição diária A(8), entre as rotinas A e B em todos os locais de medição e em todos os veículos analisados. Demais resultados da avaliação da saúde e conforto do presente trabalho, podem ser visualizados na tabela do apêndice A.

### 3.3. DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Com o objetivo de verificar se existe alguma diferença significativa no nível de vibração medido dentro dos veículos em relação à variação da velocidade, é realizada uma análise de variância (ANOVA) nos dados coletados. Juntamente com a primeira verificação, uma análise do nível de vibração em relação ao tipo de pavimento. Tendo como objetivo verificar o que o bom senso e os gráficos indicam a respeito da diferença significativa do nível de vibração em relação à variação da velocidade e tipo de pavimento.

Segundo Callegari-Jacques (2003), um dos modelos mais simples de análise de variância é o que analisa os dados a um critério de classificação. Sendo assim, para a verificação no presente trabalho, se utiliza a análise de variância de fator único.

Numa análise de variância assumem-se duas hipóteses: H<sub>0</sub>, os tratamentos não afetam a variável de interesse. H<sub>1</sub>, os tratamentos de alguma forma afetam a variável de interesse sendo possível investigar de que forma é essa relação. Se o parâmetro da análise F for maior que F crítico a hipótese H<sub>1</sub> é aceita indicando uma correlação entre os tratamentos e a variável. Caso contrário a hipótese H<sub>1</sub> é rejeitada e adota-se H<sub>0</sub>. Estas análises, de uma forma padrão, são realizadas para um nível de significância de 0,05, ou seja, uma confiança de 95%.

Para verificação de diferenças do nível de vibração com relação à velocidade, separou-se a velocidade em 3 grupos (0, 30 e 60 km/h), sendo que cada grupo, englobando os valores de aceleração medidos em todos os veículos e todos os locais de medição. Para análise da influência do pavimento, procedeu-se de maneira semelhante, porém dividindo a análise em apenas dois grupos: asfalto e paralelepípedos. Destaca-se que em ambas as análises o fator a ser verificado é a aceleração rms ponderada pela frequência.



A análise foi realizada com o auxílio do software Microsoft Excel 2007. Os resultados para ambas as análises encontram-se no apêndice C.

Para ambas as análises, o valor de F (variância entre os grupos), foram bem superiores ao valor crítico de F. Observa-se também nas tabelas, que o valor-p (probabilidade) em ambas as situações resultaram menores que o nível de significância de 0,05.

Com base nestes dados, pode-se assegurar que os resultados em ambas as análises são significativos, ou seja, existem diferenças e relações significativas da vibração dentro do veículo em relação às faixas de velocidade. E, também existem diferenças estatisticamente significativas na vibração interna do carro em função do tipo da superfície de rolamento, dado um tanto quanto intuitivo, porém comprovado estatisticamente.

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com a avaliação do conforto quanto à vibração, analisando cada veículo em função de cada faixa de velocidade e de pavimento isoladamente, não houve uma predominância dos valores de vibração atribuídos a um veículo específico, em relação à mudança do tipo de pavimento e velocidade. Ou seja, para dadas condições, veículos em determinadas situações, manifestaram comportamentos diferentes, sendo que para alguns casos, apresentaram valores de aceleração superiores, porém em outras situações o mesmo comportamento não foi seguido. Todavia, verifica-se que a diferença entre as médias das acelerações rms totais de cada veículo, apresentaram valores muito próximos. Observaram-se diferentes comportamentos para cada veículo medido de acordo com a velocidade e tipo de pavimento. Porém, de maneira geral, o Volkswagen Gol apresentou uma média de vibração inferior aos demais veículos, seguidos do Ford Fiesta, Renault Sandero e Fiat Palio. Podendo ser atribuído um nível de conforto superior ao Volkswagen Gol, em relação aos demais.

Ainda, em acordo com a escala de desconforto da norma ISO-2631-1:1997, várias situações em determinados veículos apresentaram níveis de vibração que podem ser considerados desconfortáveis. Conclui-se também, que as vibrações decorrentes do funcionamento do veículo são significativamente menores em comparação com aquelas originadas de seu deslocamento. Tendo pouca influência às vibrações transmitidas ao ocupante, em relação àquelas geradas pelo rolamento do veículo em superfícies irregulares.

Para avaliação da saúde, destaca-se que para uma rotina de trabalho de um motorista profissional predominante em superfícies irregulares, as exposições diárias à vibração A(8) atingem valores consideravelmente maiores, podendo ultrapassar o valor limite de exposição diária (VLE). Porém, vê-se que dificilmente um motorista profissional em meio urbano passará um longo período sobre uma superfície de rolamento irregular. Nota-se que as vibrações decorrentes do encosto e do assento são mais preocupantes, sendo que, em todos os veículos testados, estas ultrapassaram os valores de ação de exposição diária (VAE) necessitando de medidas que visem à diminuição ou a eliminação desta exposição. Ainda conclui-se que uma pequena pausa no expediente em caso de motoristas profissionais, pode refletir em uma redução significativa do valor de exposição diária à vibração, sendo um fator que pode ser compensado em casos de ultrapassar os valores estipulados pela norma.

Em relação à variação da vibração dentro do veículo em função da velocidade e tipo de pavimento, pôde-se provar estatisticamente que há uma diferença significativa da aceleração rms em função das diferentes condições de piso e velocidade. Observando-se os gráficos, verifica-se que quanto maior a velocidade do veículo em questão, maior será o nível de vibração interna, tanto para uma superfície lisa, como o asfalto, quanto para uma superfície irregular como o pavimento de paralelepípedos. E que, no geral, pavimentos mais irregulares induzem mais vibração independente da faixa de velocidade.

## REFERÊNCIAS

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.

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 para obtenção de título de doutor em engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 2006.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações.** Porto Alegre: Ed. Artmed, 2003.

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.

DREHMER, L. R. C. **Análise de Conforto e Segurança do Motorista num Modelo Veicular.** Monografia para obtenção do título de engenheiro mecânico. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

FERNANDES, J. C. **Segurança nas vibrações sobre o corpo humano.** 2000.

GRIFFIN, M. J. **Handbook of human vibration.** U.S.A: Academic Press, 1990.

ISO 2631-1:2009. **Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements.** International Organization for Standardization, 2009.

ISO 5349-1:2001. **Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements.** International Organization for Standardization, 2001.

ISO 5349-2:2001. **Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace.** International Organization for Standardization, 2001.

MAIA, R. H. **Análise de sensibilidade aplicada a estudos de conforto vibracional em automóveis.** Tese para obtenção de título de mestre em engenharia. Belo Horizonte: PUC Minas, 2002.

MIGUEL, L. F. F. **Estudo teórico e experimental de amortecedores de vibração por atrito.** Tese para obtenção do título de mestre em engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

NR15. Norma Regulamentadora No.15. **Atividades e operações insalubres - Anexo N°8 Vibrações.** [http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf) acessado em 08/10/2010.

PALMER, K. T., GRIFFIN, M. J., BENDALL, H., PANNETT, B. **Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey.** Occupational Environmental Medicine, 2000.

QUEST-TECHNOLOGY. **Real-time vibration Analyzers, VI-400PRO, Preliminary owner's manual.** 2005.

QUINTAS, J. P. R. **Metodologia para avaliação de ruído e vibração no corpo humano em navios de transporte de cargas perigosas.** Tese para obtenção de título de doutor em engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

SAVIONEK, D. **Medição e Avaliação da Exposição Humana à Vibração Transmitida ao Sistema Mão-braço Durante a Atividade Ciclística.** Monografia para obtenção do título de engenheiro mecânico. Porto Alegre: UFRGS, 2010.

WALBER, M. **Avaliação dos Níveis de Vibração Existentes em Passageiros de Ônibus Rodoviários Intermunicipais, Análise e Modificação Projetual.** Tese para obtenção do título em Doutor em Engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

WONG, J. Y. **Theory of Ground Vehicles.** 3<sup>rd</sup> ed. USA: John Wiley and Sons, 2001.

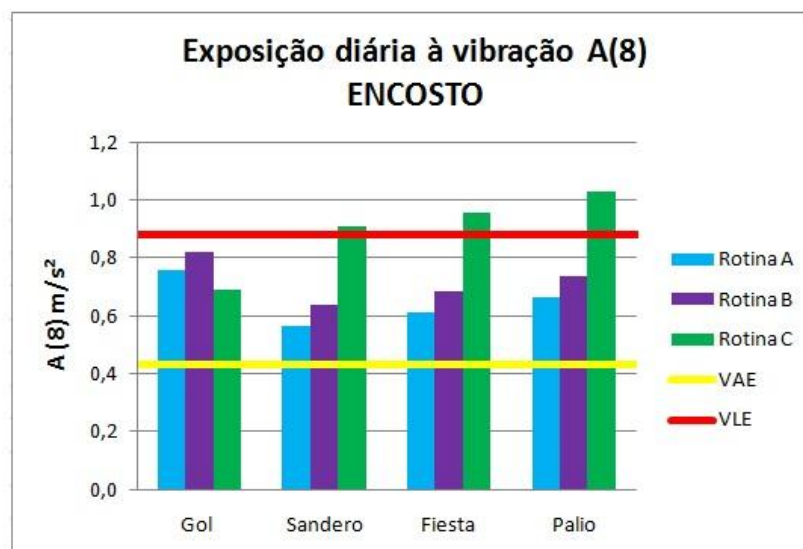
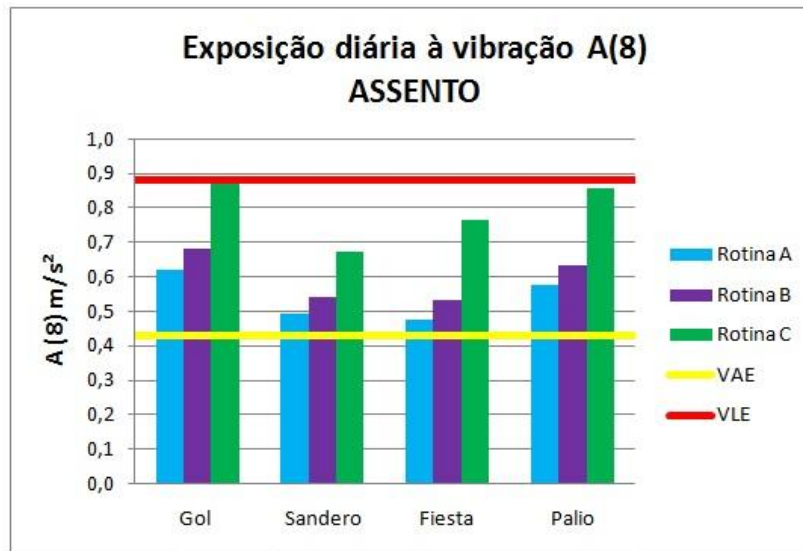
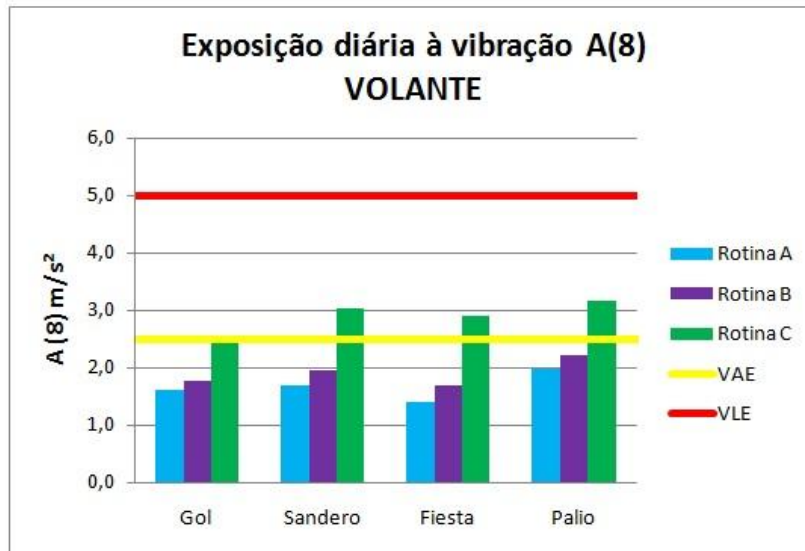
## APÊNDICES

## APÊNDICE A – Tabela geral dos resultados

Medição	ID	Pavimento	Veículo	Local da medição	Velocidade (km/h)	T medição (s)	awx (m/s <sup>2</sup> )	awy (m/s <sup>2</sup> )	awz (m/s <sup>2</sup> )	a rms para conforto (m/s <sup>2</sup> )	a rms para saúde (m/s <sup>2</sup> )
1	VOLAN	ASF	Gol	Volante	0	61	0,0519	0,1327	0,066	0,1570	0,1570
2	VOLAN2	ASF	Gol	Volante	30	61	0,5895	0,6346	0,7153	1,1233	1,1233
3	VOLAN3	ASF	Gol	Volante	60	61	0,8147	1,3568	1,2359	2,0080	2,0080
4	BANCO0	ASF	Gol	Assento	0	61	0,0063	0,0059	0,019	0,0209	0,0225
5	BANCO3	ASF	Gol	Assento	30	61	0,1611	0,178	0,4256	0,4886	0,5423
6	BANCO4	ASF	Gol	Assento	60	61	0,2489	0,2211	0,595	0,6818	0,7558
7	ENCO6	ASF	Gol	Encosto	0	61	0,0191	0,019	0,0331	0,0223	0,0567
8	ENCO7	ASF	Gol	Encosto	30	61	0,8483	0,1986	0,321	0,6378	0,9394
9	ENCO8	ASF	Gol	Encosto	60	61	0,4877	0,2402	0,3974	0,4381	0,8127
10	VOLAN4	ASF	Sandero	Volante	0	61	0,0725	0,1903	0,088	0,2218	0,2218
11	VOLAN7	ASF	Sandero	Volante	30	61	0,6622	1,3552	1,0605	1,8438	1,8438
12	VOLAN8	ASF	Sandero	Volante	60	61	0,7145	1,0839	0,952	1,6338	1,6338
13	BANCO5	ASF	Sandero	Assento	0	61	0,0124	0,0123	0,0317	0,0362	0,0400
14	BANCO8	ASF	Sandero	Assento	30	61	0,1032	0,1811	0,3635	0,4190	0,4661
15	BANCO9	ASF	Sandero	Assento	60	61	0,1945	0,1851	0,4508	0,5247	0,5870
16	ENCO1	ASF	Sandero	Encosto	0	61	0,021	0,0133	0,0183	0,0195	0,0380
17	ENCO4	ASF	Sandero	Encosto	30	61	0,3776	0,1416	0,1528	0,3162	0,4771
18	ENCO5	ASF	Sandero	Encosto	60	61	0,4624	0,1936	0,2861	0,3991	0,6691
19	VOLA	ASF	Fiesta	Volante	0	61	0,0509	0,1591	0,0971	0,1932	0,1932
20	VOLA2	ASF	Fiesta	Volante	30	61	0,5266	0,6607	0,8933	1,2296	1,2296
21	VOLA3	ASF	Fiesta	Volante	60	61	0,6442	0,7852	0,955	1,3941	1,3941
22	BANC	ASF	Fiesta	Assento	0	62	0,0091	0,0128	0,0207	0,0260	0,0302
23	BANC2	ASF	Fiesta	Assento	30	61	0,1216	0,1351	0,3266	0,3738	0,4140
24	BANC3	ASF	Fiesta	Assento	60	61	0,1826	0,1543	0,4436	0,5039	0,5557
25	ENCOS4	ASF	Fiesta	Encosto	0	63	0,027	0,0263	0,0406	0,0301	0,0729
26	ENCOS7	ASF	Fiesta	Encosto	30	61	0,3922	0,1704	0,2259	0,3374	0,5575
27	ENCOS8	ASF	Fiesta	Encosto	60	67	0,4566	0,197	0,3323	0,4010	0,7078
28	VOLA4	ASF	Pallo	Volante	0	61	0,0611	0,2544	0,1663	0,3100	0,3100
29	VOLA7	ASF	Pallo	Volante	30	61	0,0609	1,1561	0,8521	1,4375	1,4375
30	VOLA8	ASF	Pallo	Volante	60	61	1,719	1,2897	1,0375	2,3864	2,3864
31	BANC4	ASF	Pallo	Assento	0	62	0,0156	0,011	0,0441	0,0481	0,0516
32	BANC7	ASF	Pallo	Assento	30	61	0,1488	0,1948	0,3577	0,4336	0,4957
33	BANC8	ASF	Pallo	Assento	60	66	0,248	0,2046	0,5303	0,6201	0,6956
34	ENCOS	ASF	Pallo	Encosto	0	61	0,0333	0,0083	0,0133	0,0275	0,0399
35	ENCOS2	ASF	Pallo	Encosto	30	61	0,3767	0,1635	0,2188	0,3243	0,5368
36	ENCOS3	ASF	Pallo	Encosto	60	62	0,5346	0,2249	0,3677	0,4660	0,8062
37	VOLAN	CAL	Gol	Volante	0	61	0,0519	0,1327	0,066	0,1570	0,1570
38	VOLAN0	CAL	Gol	Volante	30	61	1,899	1,332	1,4639	2,3093	2,3093
39	VOLAN1	CAL	Gol	Volante	60	61	1,7885	1,6615	2,0347	3,1779	3,1779
40	BANCO0	CAL	Gol	Assento	0	61	0,0063	0,0059	0,019	0,0209	0,0225
41	BANCO1	CAL	Gol	Assento	30	61	0,166	0,1367	0,6539	0,6884	0,7199
42	BANCO2	CAL	Gol	Assento	60	61	0,3388	0,1652	1,0777	1,1417	1,2000
43	ENCO6	CAL	Gol	Encosto	0	61	0,0191	0,019	0,0331	0,0223	0,0567
44	ENCO9	CAL	Gol	Encosto	30	61	0,492	0,1873	0,2283	0,4148	0,6426
45	ENCO10	CAL	Gol	Encosto	60	61	0,6457	0,2548	0,3094	0,5462	0,8555
46	VOLAN4	CAL	Sandero	Volante	0	61	0,0725	0,1903	0,088	0,2218	0,2218
47	VOLAN5	CAL	Sandero	Volante	30	64	1,2546	2,3851	2,0965	3,4144	3,4144
48	VOLAN6	CAL	Sandero	Volante	60	61	1,6255	2,4155	2,3335	3,7312	3,7312
49	BANCO5	CAL	Sandero	Assento	0	61	0,0124	0,0123	0,0317	0,0362	0,0400
50	BANCO6	CAL	Sandero	Assento	30	61	0,1427	0,1432	0,5868	0,6206	0,6515
51	BANCO7	CAL	Sandero	Assento	60	61	0,2532	0,1503	0,7665	0,8211	0,8703
52	ENCO1	CAL	Sandero	Encosto	0	61	0,021	0,0133	0,0183	0,0195	0,0380
53	ENCO2	CAL	Sandero	Encosto	30	60	0,7907	0,1756	0,2682	0,6476	0,9092
54	ENCO3	CAL	Sandero	Encosto	60	61	0,9772	0,1945	0,4217	0,8056	1,1737
55	VOLA	CAL	Fiesta	Volante	0	61	0,0509	0,1591	0,0971	0,1932	0,1932
56	VOLA0	CAL	Fiesta	Volante	30	61	0,0609	2,3415	2,4462	3,3868	3,3868
57	VOLA1	CAL	Fiesta	Volante	60	61	1,6218	2,1478	2,2803	3,5275	3,5275
58	BANC	CAL	Fiesta	Assento	0	62	0,0091	0,0128	0,0207	0,0260	0,0302
59	BANCO	CAL	Fiesta	Assento	30	61	0,151	0,1422	0,6295	0,6628	0,6932
60	BANC1	CAL	Fiesta	Assento	60	61	0,2231	0,1641	0,9365	0,9766	1,0136
61	ENCOS4	CAL	Fiesta	Encosto	0	63	0,027	0,0263	0,0406	0,0301	0,0729
62	ENCOS5	CAL	Fiesta	Encosto	30	61	0,7798	0,1714	0,2904	0,6403	0,9116
63	ENCOS6	CAL	Fiesta	Encosto	60	61	1,0069	0,2165	0,4847	0,8356	1,2515
64	VOLA4	CAL	Pallo	Volante	0	61	0,0611	0,2544	0,1663	0,3100	0,3100
65	VOLA5	CAL	Pallo	Volante	30	61	1,3648	2,5615	2,0417	3,5486	3,5486
66	VOLA6	CAL	Pallo	Volante	60	73	1,7348	2,7321	2,1827	3,9036	3,9036
67	BANC4	CAL	Pallo	Assento	0	62	0,0156	0,011	0,0441	0,0481	0,0516
68	BANC5	CAL	Pallo	Assento	30	61	0,1675	0,1437	0,5888	0,6268	0,6649
69	BANC6	CAL	Pallo	Assento	60	61	0,3436	0,17	1,0411	1,1094	1,1713
70	ENCOS	CAL	Pallo	Encosto	0	61	0,0333	0,0083	0,0133	0,0275	0,0399
71	ENCOS0	CAL	Pallo	Encosto	30	61	0,7071	0,1875	0,3236	0,5878	0,8799
72	ENCOS1	CAL	Pallo	Encosto	60	61	1,1079	0,2432	0,5327	0,9196	1,3782

Rotina A			Rotina B			Rotina C		
	Aceleração equivalente (mls <sup>2</sup> )	A(B) (mls <sup>2</sup> )		Aceleração equivalente (mls <sup>2</sup> )	A(B) (mls <sup>2</sup> )		Aceleração equivalente (mls <sup>2</sup> )	A(B) (mls <sup>2</sup> )
VOLANTE								
Gol	1,7121	1,6015		1,7680	1,7680		2,6012	2,4332
Sandero	1,7963	1,6803		1,9584	1,9584		3,2428	3,0334
Fiesta	1,5044	1,4072		1,6799	1,6799		3,1028	2,9024
Pallo	2,1084	1,9722		2,2110	2,2110		3,3923	3,1732
ASSENTO								
Gol	0,6631	0,6202		0,6814	0,6814		0,9482	0,8869
Sandero	0,5261	0,4921		0,5410	0,5410		0,7213	0,6747
Fiesta	0,5073	0,4745		0,5320	0,5320		0,8175	0,7647
Pallo	0,6142	0,5746		0,6342	0,6342		0,9158	0,8567
ENCOSTO								
Gol	0,8105	0,7582		0,8204	0,8204		0,7373	0,6897
Sandero	0,6065	0,5673		0,6364	0,6364		0,9743	0,9114
Fiesta	0,6524	0,6103		0,6832	0,6832		1,0248	0,9586
Pallo	0,7092	0,6634		0,7360	0,7360		1,0376	1,0267

APÊNDICE B – Exposição diária à vibração A(8) em função dos veículos avaliados e rotinas propostas.



## APÊNDICE C – Resultados das análises de variância

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Asfalto	24	20,48216	0,853423	0,380675
Paralelepípedos	24	39,04638	1,626932	1,692388

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	7,179794936	1	7,179795	6,926752	0,011519	4,051749
Dentro dos grupos	47,68043915	46	1,036531			
Total	54,86023408	47				

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Velocidade 0 km/h	24	2,225141	0,092714	0,00969
Velocidade 30 km/h	24	26,5752	1,1073	1,063286
Velocidade 60 km/h	24	32,95334	1,373056	1,285093

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	21,91428	2	10,95714	13,93998	8,23E-06	3,129644
Dentro dos grupos	54,23558	69	0,786023			
Total	76,14986	71				

Pode-se visualizar que em ambos os grupos o valor de F (coeficiente de Fisher) é consideravelmente superior ao valor de F crítico. Assumindo-se assim, a hipótese H1, onde os tratamentos de alguma forma afetam a variável de interesse, possuindo diferenças significativas da variável e indicando uma correlação entre os tratamentos e a variável, sendo que em ambos os casos a variável analisada é a aceleração rms ponderada pela frequência.

## ANEXOS

## ANEXO A – Certificado de calibração dos acelerômetros



## Certificate of Calibration

Certificate Number: 21185012430

Model: VI-400

Date Issued: 10-January-2008

S/N: 12430

**Quest Technologies, Inc. certifies that the above listed product meets or exceeds the requirements of the following standard(s):**

- ISO 8041 - Human response to vibration
- ISO 2631-1 - Whole-Body Vibration
- ISO 5349 - Hand-Transmitted Vibration
- ISO 10816 - Standard for Vibration Monitoring
- IEC 61672-1 - Electroacoustics - Sound level meters

**Test Procedure:** S072-020

**Subassemblies:**

Dytran 3023A2 S/N: 4147

Dytran 5313M4 (VI-400) S/N: 647

**Test Conditions:**

Temperature: 18-25°C

Humidity: 20-80% R.H.

Barometric Pressure: 950-1050 mBar

**Reference Standard(s):**

Device	Cal Due Date	Uncertainty - Estimated at 95% Confidence Level (k=2)
Kistler 8076K	18-December-2008	+/- 1.8% Vibration
Fluke 45	19-March-2009	+/- 1.4% AC Voltage, +/-0.1% DC Voltage

**Calibrated By:**

*Linda Osterndorf*  
Linda Osterndorf Assembler

In order to maintain best instrument performance over time and in the event of inspection, audit or litigation, we recommend the instrument be recalibrated annually. Any number of factors may cause the calibration item to drift out of calibration before the recommended interval has expired.

All equipment used in this test is traceable to NIST, and applies only to the unit identified above.  
This report must not be reproduced except in its entirety without the written approval of Quest Technologies, Inc.

058-387 Rev E

**QUEST**  
TECHNOLOGIES, INC.

Page 1 of 1

1060 CORPORATE CENTER DRIVE • OCONOMOWOC, WISCONSIN 53066-4828  
800-245-0779 • 262-567-9157 • FAX 262-567-4047 • INTERNET ADDRESS: www.quest-technologies.com  
An ISO 9001 Registered Company

## ANEXO B – Declaração de conformidade do medidor VI-400Pro



## Declaration of Conformity

Certificate Number: 21185012430

### The Following Directives Are Covered By This Declaration:

89/336/EEC Electromagnetic Compatibility Directive, As Ammended  
73/23/EEC Low Voltage Equipment Directive, Ammended by 93/68/EEC

### The Following Product Is Covered By This Declaration:

Model: VI-400

S/N: 12430

### The Basis On Which Conformity Is Being Declared:

The manufacturer hereby declares under his sole responsibility that the product identified above complies with the protection requirements of the EMC directive and with the principal elements of the safety objectives of the Low Voltage Equipment directive, and that the following standards have been applied:

EN50081-1 Electromagnetic Compatibility

EN50082-1 Electromagnetic Compatibility

Signed: \_\_\_\_\_

Mike Wurm - Vice President of Engineering

Date: 10-January-2008

### Attention!

The attention of the specifier, purchaser, installer or user is drawn to special measures and limitations to use which must be observed when these products are taken into service to maintain compliance with the above directives.

Details of these special measures and limitations to use are available on request, and are also contained in the product manuals.

098-605 Rev A

## QUEST

TECHNOLOGIES, INC.

1060 CORPORATE CENTER DRIVE • OCONOMOWOC, WISCONSIN 53066-4828  
800-245-0779 • 262-567-9157 • FAX 262-567-4047 • INTERNET ADDRESS: [www.quest-technologies.com](http://www.quest-technologies.com)  
An ISO 9001 Registered Company

Page 1 of 1