

DANIEL SAVIONEK

MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO HUMANA À VIBRAÇÃO  
TRANSMITIDA AO SISTEMA MÃO-BRAÇO DURANTE A ATIVIDADE  
CICLÍSTICA

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.

Orientadores: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Lisandra Fraga Limas

Porto Alegre  
2010



**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**Escola de Engenharia**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO HUMANA À VIBRAÇÃO TRANSMITIDA  
AO SISTEMA MÃO-BRAÇO DURANTE A ATIVIDADE CICLÍSTICA**

**DANIEL SAVIONEK**

**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. Ignácio Iturrioz  
UFRGS / DEMEC**

**Prof. Juan Pablo Quintas  
UFRGS / DEMEC**

**Prof. Walter Jesus Paucar Casas  
UFRGS / DEMEC**

**Porto Alegre  
2010**

de modo especial, aos meus pais Leni e Olavo,  
e à minha namorada Caroline.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais *Leni* e *Olavo*, por todos os ensinamentos transmitidos e cuidados dedicados desde o início da minha existência. Mesmo distantes fisicamente durante a graduação, vocês sempre estiveram intensamente presentes, oferecendo todo o suporte necessário para a realização deste sonho. Assim, registro aqui minha eterna gratidão.

À minha amada *Caroline*, que esteve sempre ao meu lado, oferecendo seu carinho, dedicação e compreensão, auxiliando a superar todos os momentos, principalmente os mais árduos.

Ao meu irmão *Rafael*, pelo companheirismo e amizade inigualáveis.

À minha avó *Clotilde*, por sua presença marcante em minha vida.

Aos meus orientadores, *Prof. Dr. Herbert Martins Gomes* e *Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lisandra Fraga Limas* pelas valiosas contribuições para realização do trabalho.

Ao *Arquiteto Régulo Franquine Ferrari*, pelo seu empenho e dedicação empregados na realização das medições e demais contribuições para o desenvolvimento do trabalho.

Ao *Prof. Dr. Herbert Martins Gomes*, pela oportunidade de aprendizagem na iniciação científica e por todos os ensinamentos transmitidos durante a graduação.

À Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC), pelo interesse no trabalho e pelo auxílio na realização das medições.

Ao Grupo de Mecânica Aplicada (GMAp) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS, pelo suporte oferecido para realização do trabalho, principalmente em relação à disponibilidade dos equipamentos de medição.

Aos ciclistas, pela disponibilidade de tempo e esforço dedicados à realização das medições, em especial na pessoa do *Sr. Paulo Roberto Alves*, pela disponibilização das bicicletas.

Por fim, aos grandes amigos, *Eduardo, Marcelo, Marcos, Pedro* e *Robson*, por todos os momentos de diversão e descontração que juntos vivenciamos.

O futuro não é o resultado da escolha entre caminhos alternativos oferecidos pelo presente, mas um lugar que é criado - criado primeiro na mente e na vontade, criado depois na atividade.

*Deborah James*

SAVIONEK, D. **Medição e Avaliação da Exposição Humana à Vibração Transmitida ao Sistema Mão-braço Durante a Atividade Ciclística**. 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

Este trabalho apresenta um estudo de medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística. Medições de vibração são realizadas para três diferentes tipos de pavimento, asfalto (AS), placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e blocos intertravados de concreto (BI), utilizando-se dois modelos de bicicleta, *speed* (S) e *mountain bike* (MB), e ciclistas com diferentes características físicas. Segundo uma análise objetiva, para cada configuração – tipo de pavimento x modelo de bicicleta x ciclista –, avalia-se a exposição diária à vibração A(8), como definido pela norma ISO 5349-1, para uma duração diária de exposição à vibração de 2 h, e também avalia-se os tempos máximos de exposição diária à vibração, para que os limites de exposição definidos pela Diretiva 2002/44/EC sejam atingidos. Segundo uma análise subjetiva, avalia-se o grau de conforto oferecido por cada tipo de pavimento quanto à exposição à vibração, de acordo com a opinião dos ciclistas. Ao final, os resultados são comparados e verifica-se, tanto pela análise objetiva quanto pela subjetiva, que o tipo de pavimento mais adequado para a atividade ciclística é o asfalto (AS), seguido das placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e dos blocos intertravados de concreto (BI).

**PALAVRAS-CHAVES:** Medição de vibração em bicicletas, Pavimentação para ciclovias, Vibração transmitida ao sistema mão-braço, Exposição humana à vibração.

SAVIONEK, D. **Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-arm Vibration in Cycling Activity** 2010. 22f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

## **ABSTRACT**

This work presents a study of measurement and evaluation of human exposure to hand-arm vibration in cycling activity. Vibration measurements are performed for three pavement types, asphalt (AS), “*in loco*” concrete molded plates (PC), and concrete interlocking pavers (BI), using two bicycle models, speed (S) and mountain bike (MB), and cyclists with different physical features. In an objective analysis, for each configuration – pavement type x bicycle model x cyclist –, is evaluated the daily vibration exposure A(8), as defined in standard ISO 5349-1, for 2 h of daily duration of exposure to vibration, and is also evaluated the maximum daily duration of exposure to vibration, so that the limit values of exposure, as defined in Directive 2002/44/EC, are reached. In a subjective analysis, is evaluated the comfort degree on vibration exposure offered for each pavement type, according to the cyclists opinion. Finally, the results are compared and, both by objective and subjective analysis, it has been noticed that the most appropriate pavement type is the asphalt (AS), followed by “*in loco*” concrete molded plates (PC), and concrete interlocking pavers (BI).

**KEYWORDS:** Vibration measurement in bicycles, Pavement to cycle paths, Hand-arm vibration, Human exposure to vibration.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	iv
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	vii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. DESENVOLVIMENTO .....	1
2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	1
2.1.1. Caracterização de uma vibração .....	1
2.1.2. Exposição humana à vibração .....	2
2.1.3. Efeitos sobre a saúde causados pela exposição à vibração.....	3
2.1.4. Avaliação da exposição humana à vibração .....	4
2.1.5. Metodologia de avaliação segundo a ISO 5349-1:2001 .....	4
2.1.6. Limites da exposição humana à vibração .....	5
2.2. AVALIAÇÃO OBJETIVA DA VIBRAÇÃO NA ATIVIDADE CICLÍSTICA .....	6
2.2.1. Equipamentos de medição .....	7
2.2.2. Instrumentação da bicicleta .....	8
2.2.3. Tipos de pavimentos avaliados .....	8
2.2.4. Modelos de bicicletas .....	9
2.2.5. Caracterização dos ciclistas .....	10
2.3. AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA VIBRAÇÃO NA ATIVIDADE CICLÍSTICA .....	10
3. RESULTADOS E ANÁLISES.....	10
3.1. Da avaliação objetiva da vibração na atividade ciclística .....	10
3.2. Da avaliação subjetiva da vibração na atividade ciclística .....	14
4. CONCLUSÕES .....	15
REFERÊNCIAS .....	16
APÊNDICES .....	18
ANEXOS .....	21



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo mecânico do corpo humano, sujeito a vibração vertical, com suas frequências de ressonância (Fonte: BRÜEL & KJAER, 2000).....	2
Figura 2 - Doença de Raynaud, à esquerda em seu estágio inicial e à direita em seu estágio avançado (Fonte: PELMEAR ET AL., 1998). .....	3
Figura 3 - Curva de ponderação por frequência $W_h$ para vibração mão-braço, incluindo filtro de banda (Fonte: ISO 5349-1:2001). .....	4
Figura 4 - Sistema de coordenadas biodinâmico e basicêntrico para vibração mão-braço (Fonte: ISO 5349-1:2001). .....	5
Figura 5 - Gráfico vibração total $a_{hv}$ x tempo de exposição diária T, com curvas representando a exposição diária à vibração A(8) (Fonte: GRIFFIN ET AL., 2006). .....	6
Figura 6 – Medidor VI400-Pro e acelerômetro utilizados nas medições. ....	7
Figura 7 - Acoplamento do acelerômetro no guidom da bicicleta e o sistema de coordenadas adotado nas medições. ....	8
Figura 8 - Tipos de pavimentação empregados nas medições: asfalto (AS), placas moldadas “ <i>in loco</i> ” de concreto (PC) e blocos intertravados de concreto (BI). ....	9
Figura 9 - Modelos de bicicleta <i>speed</i> (S) e <i>mountain bike</i> (MB) utilizados nas medições.....	9
Figura 10 - Exposição diária à vibração A(8) com uma duração diária da exposição T de 2h, para os três tipos de pavimentos avaliados. ....	11
Figura 11 - Exposição diária à vibração A(8) com uma duração diária da exposição T de 2h, para o pavimento de asfalto (AS). ....	12
Figura 12 - Exposição diária à vibração A(8) com uma duração diária da exposição T de 2h, para o pavimento de placas moldadas “ <i>in loco</i> ” de concreto (PC).....	12
Figura 13 - Exposição diária à vibração A(8) com uma duração diária da exposição T de 2h, para o pavimento de blocos intertravados de concreto (BI). ....	12
Figura 14 - Tempo máximo de exposição à vibração para atingir VAE para os pavimentos avaliados. ....	14
Figura 15 - Conceitos atribuídos pelos ciclistas para cada um dos pavimentos avaliados.....	14

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais normas ISO para avaliação da exposição humana à vibração.....	4
Tabela 2 – Características dos modelos de bicicleta <i>speed</i> (S) e <i>mountain bike</i> (MB).....	9
Tabela 3 - Características dos ciclistas (* ciclista não participante das medições no pavimento de placas moldadas “ <i>in loco</i> ” de concreto).....	10

## 1. INTRODUÇÃO

A exposição do corpo humano à vibração está presente em inúmeras situações do cotidiano, podendo ser fonte de desconforto e causa de problemas de saúde. Particularmente, no caso da vibração transmitida ao sistema mão-braço, podem ocorrer distúrbios de circulação sanguínea nos dedos, e distúrbios neurológicos e de função motora nas mãos e braços. Assim, sua investigação em atividades onde essa exposição possa existir é de extrema importância.

Sob um segundo aspecto, a atividade ciclística vem crescendo muito nos últimos anos, seja como meio de lazer ou de prática de atividade física, seja como meio de transporte alternativo. Algumas cidades já desenvolveram e outras se encontram em fase de desenvolvimento de planos que contemplam estudos de viabilidade, projetos, construção e gestão de ciclovias, configurando redes de vias cicláveis, que permitam, por exemplo, o deslocamento da população da sua residência até um meio de transporte público, ou mesmo da sua residência até o seu local de trabalho. Atualmente, o município de Porto Alegre é o único no Brasil que possui um Plano Diretor Cicloviário Integrado (PDCI), institucionalizado pela Lei Complementar Nº 626, que grava uma rede de 495 km de extensão de vias cicláveis.

De forma mais específica, ciclovias que foram construídas com blocos intertravados de concreto sofreram críticas dos ciclistas referentes à trepidação presente durante a atividade ciclística.

Considerando os pontos discutidos acima, e também devido à falta de estudos específicos sobre o tema, surge o presente trabalho, com o objetivo geral de avaliar a exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística. Este estudo é realizado por intermédio de medições de vibração realizadas para três diferentes tipos de pavimentação, asfalto, placas moldadas “*in loco*” de concreto e blocos intertravados de concreto, utilizando dois modelos de bicicleta, *speed* e *mountain bike*, e ciclistas com diferentes características físicas.

Além disso, o trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar, entre as configurações medidas - tipo de pavimentação x modelo de bicicleta x ciclista - se a exposição diária à vibração ultrapassa os limites indicados pela Diretiva 2002/44/EC, para uma dada duração diária de exposição adequada à atividade ciclística;
- Avaliar o tempo máximo de exposição diária à vibração para cada configuração - tipo de pavimentação x modelo de bicicleta x ciclista – para que os limites indicados pela Diretiva 2002/44/EC sejam atingidos;
- Avaliar, entre os tipos de pavimentação analisados, qual é o mais adequado para a atividade ciclística;
- Avaliar a influência do modelo da bicicleta e da característica física do ciclista sobre os valores de exposição diária à vibração obtidos.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1.1. Caracterização de uma vibração

Segundo Fernandes (2000), 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). Este movimento de vibração pode ser regular, constituído por uma única frequência, ou irregular, com vários componentes de movimento em diferentes frequências.

Um sinal de vibração pode ser representado em um gráfico de amplitude de vibração x tempo ou amplitude de vibração x frequência, este chamado de espectro de frequência. Além da frequência e da amplitude de vibração, geralmente representada pela aceleração, em  $m/s^2$ , existem outros parâmetros importantes que podem ser identificados em um sinal vibratório, como por exemplo, valor rms (*root mean square*), valor de pico, valor pico-a-pico, valor médio, fator de forma, fator de crista. Entre estes, o valor rms, também conhecido como valor eficaz, é o mais importante, pois permite segundo Fernandes (2000), avaliar a média de energia contida no movimento vibratório, mostrando o potencial destrutivo da vibração. 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. Exposição humana à vibração

De acordo com Griffin (1990 apud BALBINOT, 2001) e Chaffin et al. (1999 apud BALBINOT, 2001), para análises de vibração, o corpo humano, apesar da sua complexidade superior, pode ser considerado um sistema biomecânico, podendo ser modelado como um sistema linear, aproximado a um sistema massa-mola-amortecedor, na faixa de frequência de 1 a 80 Hz, no caso de vibrações de corpo inteiro. Para vibrações do sistema mão-braço estas frequências podem ser maiores, chegando até 1250 Hz.

Quando a frequência de uma excitação externa atinge o valor de uma dessas frequências naturais, o fenômeno de ressonância pode ocorrer, aumentando os efeitos da vibração sobre a saúde. A Figura 1 apresenta um modelo muito utilizado para demonstrar as frequências de ressonância do corpo humano, sujeito a vibração vertical.

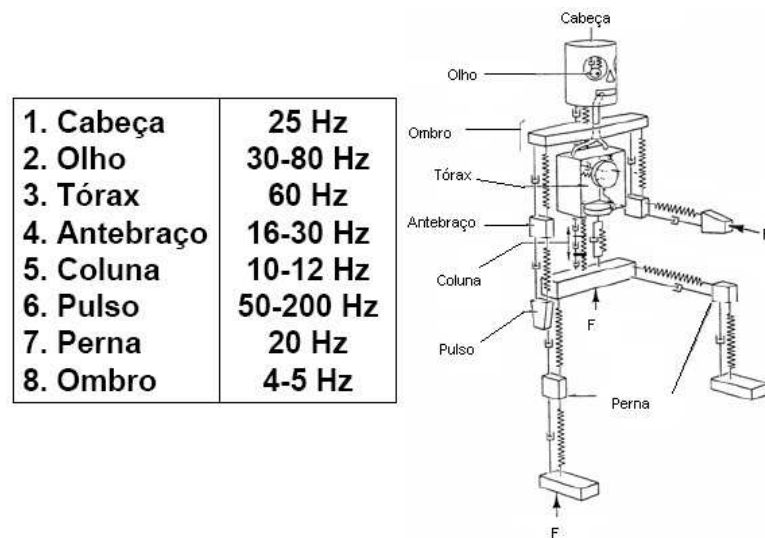


Figura 1 - Modelo mecânico do corpo humano, sujeito a vibração vertical, com suas frequências de ressonância (Fonte: BRÜEL & KJAER, 2000).

A exposição humana à vibração é classificada, devido a suas particularidades, em:

- Vibrações de corpo inteiro: também conhecidas como vibrações WBV (*Whole Body Vibration*), são as vibrações que, como o próprio nome sugere, atingem o corpo todo, mais particularmente em uma faixa de frequência de 1 a 80 Hz. Esse tipo de vibração pode estar presente nos meios de transporte, como por exemplo, em um ônibus em movimento.

- Vibrações das extremidades: mais especificamente do sistema mão-braço, também conhecidas como vibrações HAV (*Hand-Arm Vibration*), são as vibrações transmitidas às mãos e aos braços, em uma faixa de frequência de 6,3 a 1250 Hz. Este tipo de vibração pode estar presente nas ferramentas manuais oscilatórias, como por exemplo, em martelotes pneumáticos e motosserras. É também o tipo de vibração que pode estar presente na atividade ciclística, cuja avaliação é objetivo do presente trabalho.

Cabe-se ressaltar que essa classificação é formal, sendo possível ocorrer uma exposição simultânea aos dois tipos de vibração. Um motorista de ônibus, por exemplo, pode estar exposto à vibração de corpo inteiro, relativa ao movimento global do veículo, e também exposto à vibração do sistema mão-braço, transmitida pela direção do veículo.

### 2.1.3. Efeitos sobre a saúde causados pela exposição à vibração

Muitos fatores podem influenciar nos efeitos sobre a saúde ocasionados pela exposição humana à vibração. Como exemplo, pode-se citar o espectro de frequência e amplitude da vibração, a duração da exposição diária à vibração e a exposição pré-acumulada da vibração. Além disso, determinadas pessoas podem ter uma maior suscetibilidade que outras ao desenvolvimento de doenças ocasionadas pela exposição à vibração.

No caso das vibrações transmitidas ao corpo inteiro, os principais efeitos sobre a saúde podem se apresentar sob forma de enjôos, redução na capacidade visual, desordens no labirinto e náuseas, na faixa de 0,1 a 0,7 Hz, e aumento da frequência cardíaca, em frequências inferiores a 20 Hz. Além disso, muitos estudos, como por exemplo, os de Rehn et al. (2000), Hoy et al. (2000) e Tripepi et al. (2000), indicam que motoristas de veículos, como caminhão de lixo, tratores, empilhadeiras, e outros do tipo fora de estrada, apresentam uma grande incidência de problemas na região do dorso e das costas, relacionados a exposição à vibração transmitida ao corpo inteiro.

Já no caso das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço podem ocorrer distúrbios de ordem vascular, neurológica e músculo-esquelético, de maneira independente ou simultânea, conhecidos como síndrome da vibração mão-braço. O principal problema é o fenômeno de Raynaud, ou doença dos “dedos brancos”, onde ocorre uma diminuição dos vasos periféricos e artérias, com conseqüente branqueamento das extremidades dos dedos, ocasionados pela exposição do sistema mão-braço à vibração. Esse fenômeno está geralmente associado também à exposição dos membros ao frio, quando a atividade metabólica do corpo humano é menor. A Figura 2 apresenta duas fotos da ocorrência da doença de Raynaud, comparando seu estágio inicial (foto à esquerda) com seu estágio avançado (foto à direita).



Figura 2 - Doença de Raynaud, à esquerda em seu estágio inicial e à direita em seu estágio avançado (Fonte: PELMEAR ET AL., 1998).

### 2.1.4. Avaliação da exposição humana à vibração

A avaliação da exposição humana à vibração deve ser feita de acordo com as Normas Internacionais ISO (*International Organization for Standardization*). A Tabela 1 apresenta as principais normas ISO vigentes.

Tabela 1 - Principais normas ISO para avaliação da exposição humana à vibração.

Vibração de corpo inteiro	ISO 2631-1:2009 – Vibração mecânica e choque – Avaliação da exposição humana a vibração de corpo inteiro – Parte 1: Requisitos gerais
Vibração mão-braço	ISO 5349-1:2001 – Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida à mão – Parte 1: Requisitos gerais
	ISO 5349-2:2001 – Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida à mão – Parte 2: Guia prático para medição no local de trabalho

### 2.1.5. Metodologia de avaliação segundo a ISO 5349-1:2001

A seguir, será apresentada a metodologia para avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço, de acordo com a norma ISO 5349-1:2001.

A variável primária utilizada para caracterizar uma vibração é a sua aceleração rms. Esta aceleração rms deve sofrer uma ponderação por frequência  $W_h$ , e a aplicação de um filtro de banda, produzindo assim, um valor definido como aceleração rms ponderada pela frequência  $a_{hw}$ , em  $m/s^2$ . Esta ponderação evidencia a importância que as diferentes frequências exercem sobre os efeitos causados a saúde. A Figura 3 apresenta a curva de ponderação por frequência  $W_h$ , empregada na avaliação da exposição à vibração transmitida ao sistema mão-braço.

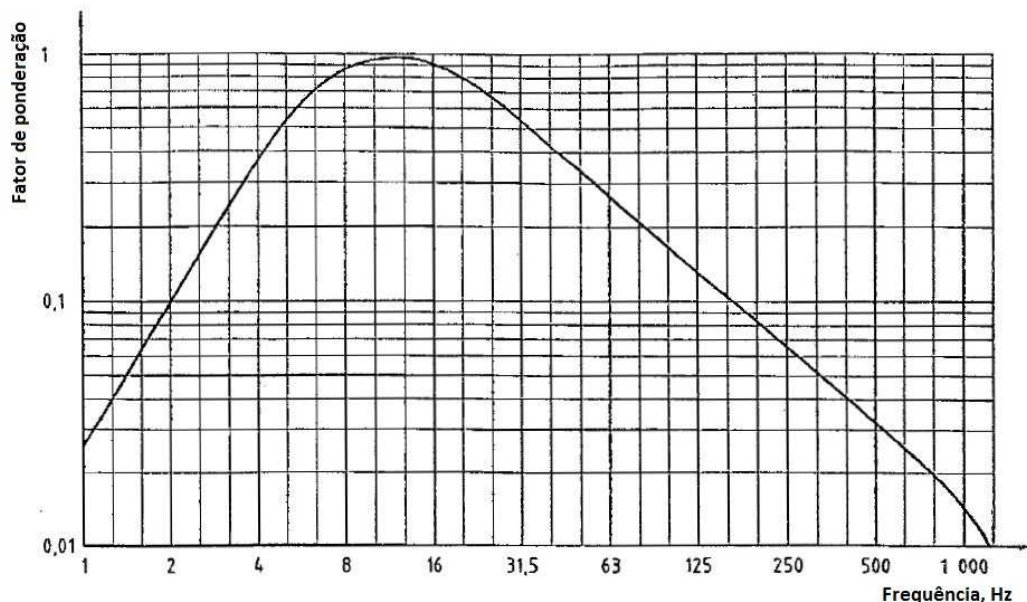


Figura 3 - Curva de ponderação por frequência  $W_h$  para vibração mão-braço, incluindo filtro de banda (Fonte: ISO 5349-1:2001).

Como se pode observar na Figura 3, existe um maior fator de ponderação para uma faixa de frequência entre 4 e 31,5 Hz, a qual corresponde justamente à faixa onde os efeitos ocasionados à saúde pela vibração no sistema mão-braço são mais prejudiciais.

As vibrações transmitidas ao sistema mão-braço devem ser medidas em três direções, segundo um sistema de coordenadas ortogonal, como definido na Figura 4. Existem dois tipos de sistemas: o biodinâmico e o basicêntrico. Entretanto, de acordo com a norma, em medições práticas o sistema de coordenadas basicêntrico deve ser adotado.

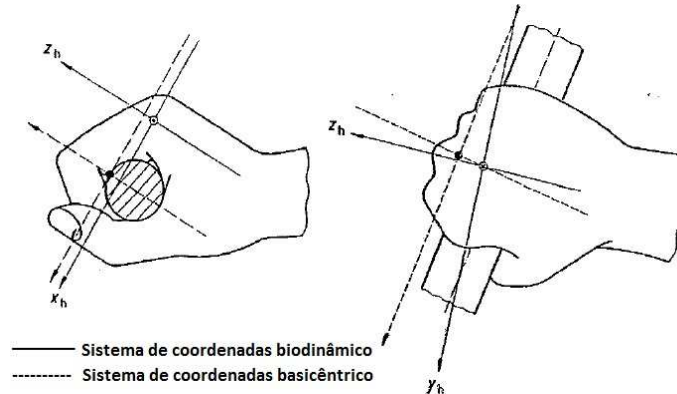


Figura 4 - Sistema de coordenadas biodinâmico e basicêntrico para vibração mão-braço (Fonte: ISO 5349-1:2001).

Como a medição da vibração deve ser executada seguindo um sistema de coordenadas tri-axial, obtém-se um valor da aceleração rms ponderada pela frequência, para cada um dos eixos, x, y e z, representados por  $a_{hw_x}$ ,  $a_{hw_y}$  e  $a_{hw_z}$ , em  $m/s^2$ .

Combinando esses três valores, por intermédio da raiz da soma dos quadrados de cada componente, obtém-se a vibração total  $a_{hv}$ , em  $m/s^2$ , conforme:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hw_x}^2 + a_{hw_y}^2 + a_{hw_z}^2} \quad (2)$$

Além da magnitude da vibração, representada pela vibração total  $a_{hv}$ , a avaliação da exposição à vibração leva em consideração a duração diária da exposição  $T$ , em h, definida como o total de tempo que as mãos ficam expostas à vibração durante um dia.

Assim, define-se a exposição diária à vibração  $A(8)$ , em  $m/s^2$ , como:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (3)$$

onde  $T_0$  é uma duração de referência de 8 horas. Esse tempo de referência  $T_0$  é adotado para facilitar comparações entre exposições diárias à vibração de diferentes durações. A exposição diária à vibração  $A(8)$  é interpretada como um valor total de vibração ponderado pela frequência, expresso em termos de uma equivalência de 8 horas de exposição diária.

### 2.1.6. Limites da exposição humana à vibração

Devido aos vários efeitos causados ao corpo humano e ao grau de severidade que eles podem atingir, a exposição à vibração é tema da legislação aplicada à saúde e segurança no trabalho. No Brasil, o Anexo N° 8 da Norma Regulamentadora N° 15 (NR 15) define que as atividades e operações que exponham os trabalhadores, sem a proteção adequada, às vibrações localizadas ou de corpo inteiro, serão caracterizadas como insalubres, através de perícia realizada no local de trabalho. E, ainda segundo a NR 15, a perícia deve tomar por base os limites de exposição definidos pelas normas ISO 2631 e ISO 5349, ou suas substitutas.



No entanto, no caso da exposição à vibração transmitida ao sistema mão-braço, a própria norma ISO 5349-1:2001 estabelece no seu escopo que ela não define limites seguros de exposição à vibração, e sim proporciona um guia para avaliação dessa exposição.

Por outro lado, na União Européia vigora a Diretiva 2002/44/EC, determinando que seus países membros implementem na sua legislação os requisitos mínimos de saúde e segurança por ela definidos, relativos à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações). No caso da vibração transmitida ao sistema mão-braço, esses requisitos são estabelecidos por dois valores de referência:

- Valor de Ação de Exposição diária (VAE) de  $2,5 \text{ m/s}^2$
- Valor Limite de Exposição diária (VLE) de  $5,0 \text{ m/s}^2$

Esses valores de referência correspondem à exposição diária à vibração  $A(8)$ , definida de acordo com a metodologia de avaliação da exposição à vibração da norma ISO 5349-1:2001 e calculada de acordo com a Equação 3. A Figura 5 apresenta um gráfico vibração total  $a_{hv}$  x tempo de exposição diária  $T$ , com curvas representando a exposição diária à vibração  $A(8)$ .

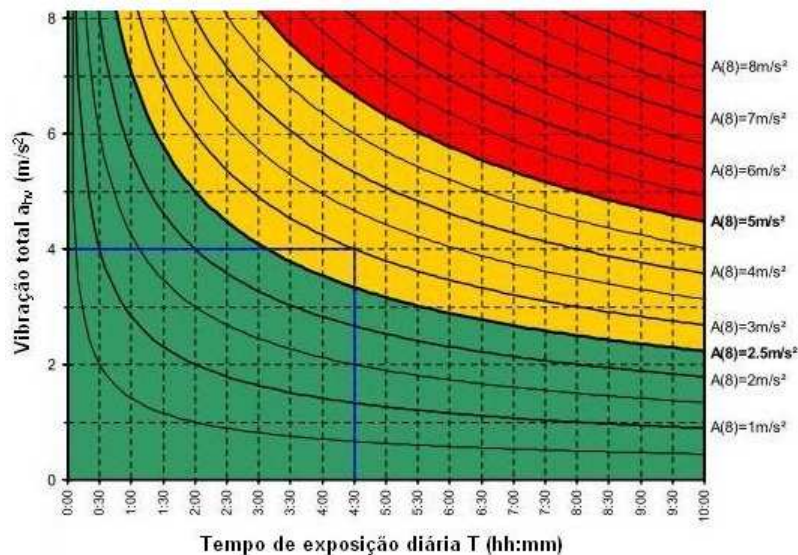


Figura 5 - Gráfico vibração total  $a_{hv}$  x tempo de exposição diária  $T$ , com curvas representando a exposição diária à vibração  $A(8)$  (Fonte: GRIFFIN ET AL., 2006).

O gráfico da Figura 5 representa uma forma alternativa para o cálculo da exposição diária à vibração  $A(8)$ , para dados valores de vibração total  $a_{hv}$  e tempo de exposição diária  $T$ . Por exemplo, no ponto indicado pelas linhas azuis, para um tempo de exposição diária  $T$  de 4h 30min e uma vibração total  $a_{hv}$  de  $4 \text{ m/s}^2$  tem-se uma exposição diária à vibração  $A(8)$  de  $3 \text{ m/s}^2$ , valor este acima do limite de ação de  $2,5 \text{ m/s}^2$ .

Segundo a determinação da Diretiva 2002/44/EC, uma exposição à vibração acima do valor de ação requer do empregador a implementação de um programa com medidas que visem a diminuição ou a eliminação dessa exposição. Já uma exposição à vibração acima do valor limite requer do empregador medidas imediatas para sua diminuição, não sendo permitida a continuidade do trabalho até que esse valor limite de exposição seja respeitado.

## 2.2. AVALIAÇÃO OBJETIVA DA VIBRAÇÃO NA ATIVIDADE CICLÍSTICA

A avaliação objetiva da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística consiste em um levantamento técnico, seguindo a metodologia indicada pela norma ISO 5349-1:2001.



Para tanto, realizaram-se medições de vibração para três diferentes tipos de pavimentação, asfalto (AS), placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e blocos intertravados de concreto (BI), utilizando dois modelos de bicicleta, *speed* (S) e *mountain bike* (MB), e sete ciclistas com diferentes características físicas. Realizou-se uma medição para cada uma das configurações – tipo de pavimento x modelo de bicicleta x ciclista – em um trajeto linear de 500 metros, a uma velocidade média padrão de 15 km/h.

### 2.2.1. Equipamentos de medição

Para a medição de uma vibração é necessário o emprego de um transdutor que converta a energia mecânica da aceleração em um sinal elétrico proporcional. Nas medições realizadas, o transdutor empregado é um acelerômetro piezoelétrico tri-axial Dytran, Model 3023A2, S/N 4147, com sensibilidade nominal de 10 mV/g para cada um dos seus eixos x, y e z. O certificado de calibração desse acelerômetro encontra-se no Anexo A.

Além do transdutor, é necessário o emprego de um aparelho que permita analisar e armazenar a aceleração medida. No caso, é utilizado o VI-400Pro, S/N 12430, um medidor e analisador portátil de vibração que mede simultaneamente em quatro canais de entrada, sendo três dos canais usualmente utilizados para uma medição de vibração tri-axial, com auxílio de um acelerômetro. A declaração de conformidade do VI-400Pro encontra-se no Anexo B. A figura abaixo apresenta uma foto contendo o medidor VI-400Pro e o acelerômetro empregados nas medições.



Figura 6 – Medidor VI400-Pro e acelerômetro utilizados nas medições.

Entre os parâmetros do sinal vibratório medidos, analisados e armazenados pelo VI-400Pro estão o valor da aceleração rms ponderada pela frequência para cada um dos eixos  $a_{hwx}$ ,  $a_{hwy}$  e  $a_{hwz}$ , vibração total  $a_{hv}$  e exposição diária à vibração A(8), de acordo como definido pela norma ISO 5349-1:2001 e como exposto na seção 2.1.5. do presente trabalho.

Para calibração do VI-400Pro utiliza-se o software QuestSuite Professional II que, por exemplo, permite definir qual será a curva de ponderação por frequência empregada para a medição. No caso, adotou-se a curva de ponderação por frequência  $W_h$ , como pode ser visualizado na Figura 3. Além disso, por intermédio do software é possível realizar o pós-processamento dos dados medidos. Por exemplo, a partir da sua ferramenta Calculador de Exposição, pode-se calcular, para cada medição, o tempo máximo de exposição diária à vibração para que seja atingido o Valor de Ação de Exposição,  $T_{maxVAE}$ , e o tempo máximo de exposição diária à vibração para que seja atingido o Valor Limite de Exposição,  $T_{maxVLE}$ .

### 2.2.2. Instrumentação da bicicleta

A instrumentação da bicicleta consiste na fixação do acelerômetro no seu guidom, com o auxílio de uma abraçadeira apropriada, de modo que ele fique rigidamente preso à estrutura. O correto posicionamento do acelerômetro é de extrema importância para que a avaliação da exposição à vibração seja consistente.

O acelerômetro é acoplado ao guidom seguindo o sistema de coordenadas basicêntrico, como definido pela norma ISO 5349-1:2001 e apresentado na Figura 4. Além do correto alinhamento dos eixos do acelerômetro, é necessário que ele seja posicionado no ponto mais próximo possível da empunhadura da mão no guidom, porém sem interferir nas condições normais da atividade ciclística. A Figura 7 mostra uma imagem do acoplamento do acelerômetro no guidom da bicicleta, juntamente com o sistema de coordenadas adotado.

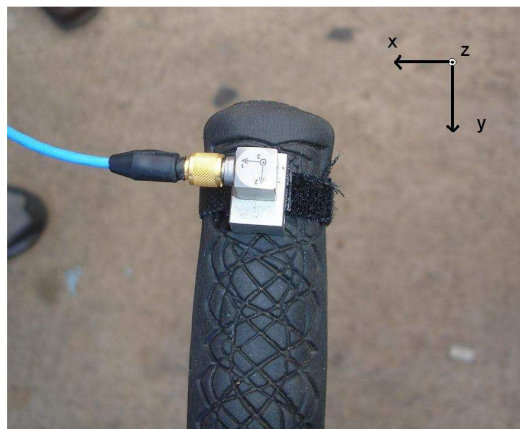


Figura 7 - Acoplamento do acelerômetro no guidom da bicicleta e o sistema de coordenadas adotado nas medições.

### 2.2.3. Tipos de pavimentos avaliados

As medições foram realizadas para três diferentes tipos de pavimentação, asfalto (AS), placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e blocos intertravados de concreto (BI).

A pavimentação de asfalto (AS) é considerada do tipo flexível e caracterizada por apresentar uma superfície de rolamento relativamente lisa e sem interrupções. As medições neste tipo de pavimento foram realizadas na faixa de rolamento da direita (sentido centro-bairro) da Avenida Diário de Notícias, em Porto Alegre.

A pavimentação de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) é considerada do tipo rígida e caracterizada por apresentar uma superfície de rolamento com algumas interrupções, devido às juntas entre as placas. No caso avaliado, as placas apresentam dimensões de 2 m de largura por 6 m de comprimento, o que representa uma junta a cada 6 m de extensão da via. As medições neste tipo de pavimento foram realizadas na baía de estacionamento da Avenida Érico Veríssimo, em Porto Alegre.

Já a pavimentação de blocos intertravados de concreto (BI) também é considerada do tipo rígida, porém caracterizada por apresentar uma superfície de rolamento com constantes interrupções, devido às juntas entre os blocos. No caso avaliado, os blocos apresentam dimensões de 10 cm de largura por 20 cm de comprimento, e são dispostos transversalmente em relação à direção da ciclovia, o que representa uma junta a cada 10 cm da sua extensão. As medições neste tipo de pavimento foram realizadas na ciclovia Eduardo Schann, ao lado da Avenida Diário de Notícias, em Porto Alegre. A Figura 8 apresenta imagens referentes aos três tipos de pavimentação avaliados.



Figura 8 - Tipos de pavimentação empregados nas medições: asfalto (AS), placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e blocos intertravados de concreto (BI).

#### 2.2.4. Modelos de bicicletas

As medições foram realizadas utilizando dois modelos de bicicleta, *speed* (S) e *mountain bike* (MB). As principais características de cada modelo podem ser observadas na tabela abaixo.

Tabela 2 – Características dos modelos de bicicleta *speed* (S) e *mountain bike* (MB).

Característica	<i>Speed</i> (S)	<i>Mountain bike</i> (MB)
Quadro	Carbono e alumínio	Alumínio
Massa	8,7 kg	12 kg
Altura do quadro	53 cm	18" (45,7 cm)
Distância entre eixos	98 cm	108 cm
Dimensões dos pneus (aro x largura)	700 mm x 23 mm <i>slick</i> (liso)	26" (660,4 mm) x 1,95" (49,5 mm) com garras
Calibragem dos pneus	110 psi	45 psi
Modelo do Guidom	<i>Speed</i> – 44 cm de largura	<i>Flat</i> (reto) – 58 cm de largura

Como podem ser visualizadas na Tabela 2, as principais diferenças entre cada modelo de bicicleta referem-se as suas massas, calibragem e largura dos pneus. O modelo MB possui 3,3 kg de massa a mais que o modelo S e um pneu com largura maior que o dobro da largura do pneu do modelo S, com uma calibragem consideravelmente menor. A Figura 9 apresenta fotos dos dois modelos de bicicletas utilizados nas medições.



Figura 9 - Modelos de bicicleta *speed* (S) e *mountain bike* (MB) utilizados nas medições.

### 2.2.5. Caracterização dos ciclistas

As medições nos três tipos de pavimentação e com os dois modelos de bicicleta foram realizadas com sete ciclistas. No entanto, dois ciclistas não participaram das medições no pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC), totalizando 38 medições. A Tabela 3 apresenta as principais características de cada ciclista. Eles estão ordenados da maior para a menor massa.

Tabela 3 - Características dos ciclistas (\* ciclista não participante das medições no pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto).

Identificação	Sexo	Idade (anos)	Massa (kg)	Altura (m)	Índice de Massa Corporal - IMC
A	M	28	89	1,86	25,73
B	M	36	81	1,74	26,75
C*	M	31	80	1,82	24,15
D	M	50	73	1,63	27,48
E*	F	29	68	1,64	25,28
F	F	28	61	1,75	19,92
G	M	36	59	1,72	19,94

### 2.3. AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA VIBRAÇÃO NA ATIVIDADE CICLÍSTICA

A avaliação subjetiva da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística consiste em um levantamento que considera a percepção do ciclista quanto às condições de conforto oferecidas por cada tipo de pavimento. Para tanto, ao final de cada medição, uma entrevista é aplicada ao ciclista, onde ele é solicitado a dar uma nota segundo uma escala de 0 a 5, quanto ao grau de conforto do trajeto. As notas equivalem a conceitos, que variam de muito ruim (de 0 a 1), ruim (de 1,1 a 2), regular (de 2,1 a 3), bom (de 3,1 a 4) a muito bom (de 4,1 a 5). Além disso, o ciclista é solicitado a emitir sua opinião sobre a qualidade do trajeto, tendo como possibilidades de resposta as alternativas: “aceitável”, “inaceitável” e “indeciso”. O questionário adotado nas entrevistas encontra-se no Apêndice A.

## 3. RESULTADOS E ANÁLISES

### 3.1. DA AVALIAÇÃO OBJETIVA DA VIBRAÇÃO NA ATIVIDADE CICLÍSTICA

Os resultados completos da avaliação objetiva da vibração na atividade ciclística estão apresentados na tabela constante no Apêndice B. A seguir são apresentados os principais resultados, por intermédio de gráficos comparativos entre as configurações medidas.

Para cada uma das configurações medidas – tipo de pavimento x modelo de bicicleta x ciclista – obtém-se um valor da aceleração rms ponderada pela frequência, para cada um dos eixos, x, y e z, representados por  $a_{hw_x}$ ,  $a_{hw_y}$  e  $a_{hw_z}$ . A partir dessas acelerações e segundo a Equação (2), obtém-se a vibração total  $a_{hv}$ .

Da vibração total  $a_{hv}$ , calcula-se, conforme a Equação (3), a exposição diária à vibração A(8). Para o cálculo, no entanto, deve ser estabelecida a duração diária da exposição T. Esse parâmetro é difícil de ser estimado para a atividade ciclística, pois os tempos de prática dessa atividade podem variar muito de ciclista para ciclista. Optou-se por analisar a exposição diária à vibração A(8) para uma duração diária da exposição T de 2 h, representando um alto tempo, onde se tem uma exposição à vibração mais crítica. Esse tempo, porém, é totalmente



compatível com a prática da atividade ciclística. A Figura 10 apresenta um gráfico mostrando a exposição diária à vibração A(8) para a duração diária da exposição T de 2h, para os três tipos pavimentos avaliados.

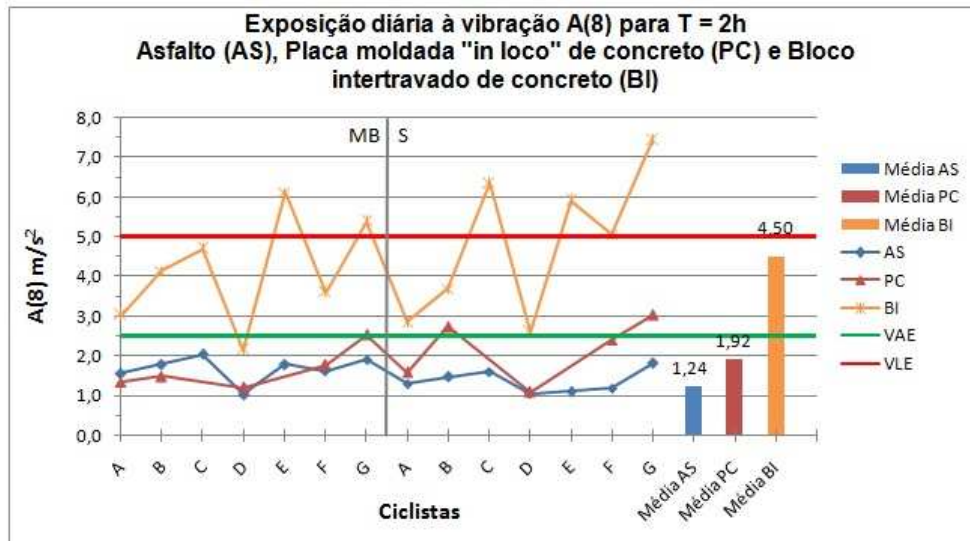


Figura 10 - Exposição diária à vibração A(8) com uma duração diária da exposição T de 2h, para os três tipos de pavimentos avaliados.

Cada ponto do gráfico representa uma medição. No eixo das abscissas estão dispostos os ciclistas e no eixo das ordenadas seus respectivos valores de exposição diária à vibração A(8). A linha vertical na metade do gráfico indica a divisão entre as medições realizadas com a bicicleta *mountain bike* (MB) e com a bicicleta *speed* (S). As barras à direita indicam a média aritmética da exposição diária à vibração A(8) para o pavimento de asfalto (AS), de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e de blocos intertravados de concreto (BI). As linhas horizontais representam o valor de ação de exposição (VAE) e o valor limite de exposição (VLE), como definidos pela Diretiva 2002/44/EC.

A partir do gráfico acima, pode-se ter uma idéia geral da exposição à vibração em cada tipo de pavimento. No pavimento de asfalto (AS) têm-se as menores exposições, com todas as avaliações abaixo do valor de ação de exposição (VAE) e com um valor médio de exposição diária à vibração A(8) de  $1,24 \text{ m/s}^2$ . Já no pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) têm-se valores de vibração relativamente maiores, inclusive com algumas avaliações acima do valor de ação de exposição (VAE) e com um valor médio de exposição diária à vibração A(8) de  $1,92 \text{ m/s}^2$ . No pavimento de blocos intertravados de concreto (BI) as exposições atingem valores consideravelmente maiores, com todas as avaliações, exceto uma, acima do valor de ação de exposição (VAE) e com algumas exposições acima do valor limite de exposição (VLE). O valor médio de exposição diária à vibração A(8) para este pavimento é de  $4,5 \text{ m/s}^2$ .

Assim, podem-se ordenar os tipos de pavimentos, quanto à exposição diária à vibração A(8), de modo que o asfalto (AS) é o pavimento mais adequado para a atividade ciclística, seguido das placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e dos blocos intertravados de concreto (BI).

Para avaliar uma possível influência do modelo da bicicleta sobre os valores da exposição diária à vibração A(8), geraram-se gráficos independentes, mostrando a exposição diária à vibração A(8) para a duração diária da exposição T de 2h, para cada um dos tipos de pavimento, como se pode visualizar nas Figuras 11, 12 e 13.

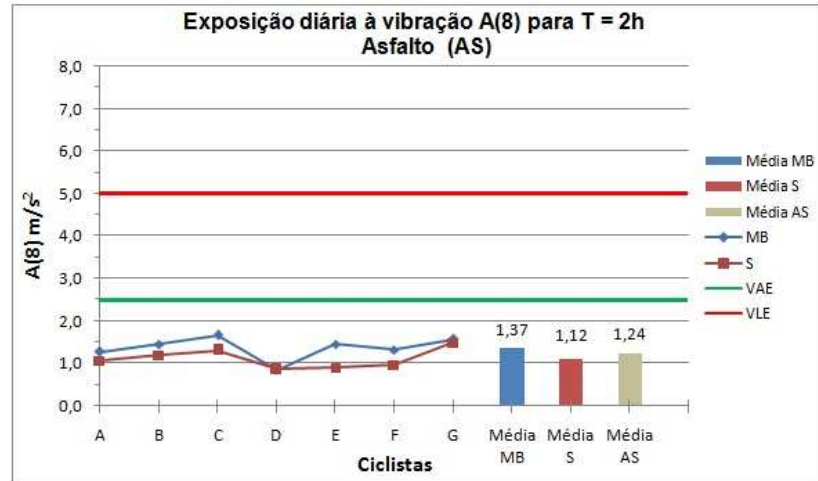


Figura 11 - Exposição diária à vibração A(8) com uma duração diária da exposição T de 2h, para o pavimento de asfalto (AS).

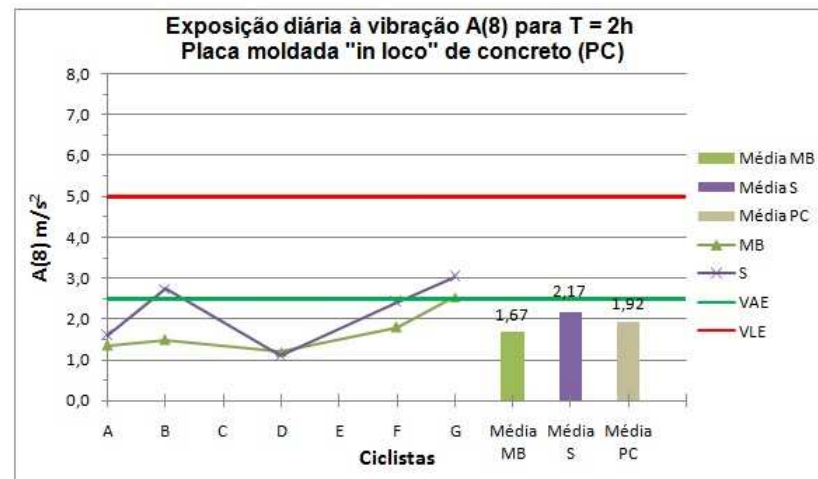


Figura 12 - Exposição diária à vibração A(8) com uma duração diária da exposição T de 2h, para o pavimento de placas moldadas "in loco" de concreto (PC).

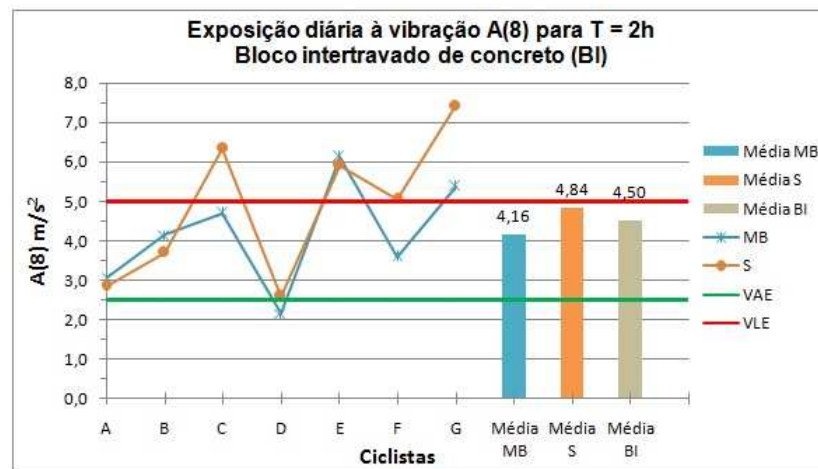


Figura 13 - Exposição diária à vibração A(8) com uma duração diária da exposição T de 2h, para o pavimento de blocos intertravados de concreto (BI).

Para o pavimento de asfalto (AS), como indica o gráfico da Figura 11, as avaliações com a bicicleta *speed* (S) apresentaram valores de exposição diária à vibração A(8)

ligeiramente menores, com um valor médio de exposição de  $1,12 \text{ m/s}^2$  contra  $1,37 \text{ m/s}^2$  para a bicicleta *mountain bike* (MB). O valor médio de exposição diária à vibração A(8) para o pavimento de asfalto (AS), considerando as avaliações com os dois modelos de bicicleta, vale  $1,24 \text{ m/s}^2$ , como indica a terceira barra do gráfico.

Já para o pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC), como indica o gráfico da Figura 12, a situação inverteu-se, ou seja, as avaliações com a bicicleta *speed* (S) apresentaram valores de exposição diária à vibração A(8) ligeiramente maiores.

Por fim, no pavimento de blocos intertravados de concreto (BI), como mostra o gráfico da Figura 13, as avaliações tiveram um terceiro comportamento, com alguns valores de exposição diária à vibração A(8) menores para a bicicleta *speed* (S) e outros menores para a bicicleta *mountain bike* (MB).

Esperava-se, principalmente devido às diferenças de largura e calibragem dos pneus, como é possível visualizar na Tabela 2, que o modelo de bicicleta *mountain bike* (MB) tivesse uma maior capacidade de amortecimento das vibrações, resultando em menores valores de exposição diária à vibração A(8). No entanto, isso não é comprovado pelos resultados, como pode ser observado nas variações de comportamento expostas acima. Por outro lado, pode-se afirmar que, para a maioria das avaliações, ao comparar-se os dois modelos de bicicleta, para um mesmo ciclista e um mesmo pavimento, não houve uma diferença muito significativa entre os valores de exposição diária à vibração A(8).

A partir dos gráficos apresentados nas Figuras 11, 12 e 13 pode-se analisar também uma possível influência das características físicas dos ciclistas sobre os valores de exposição diária à vibração A(8). Ressalta-se, como exposto na seção 2.2.5, que os ciclistas estão ordenados de A a G, da maior para a menor massa. No entanto, nos gráficos das Figuras 11, 12 e 13, não é possível identificar uma tendência de comportamento nos valores da exposição diária A(8) em relação à evolução dos ciclistas de A a G. Por exemplo, apesar do ciclista D possuir um valor de massa intermediário em relação aos outros ciclistas, em todas as avaliações ele apresenta a menor exposição diária à vibração A(8). Portanto, não é possível afirmar que a massa do ciclista exerça uma influência significativa sobre a exposição diária à vibração A(8).

Outro parâmetro mensurado é o tempo de cada medição  $T_{\text{medição}}$ , em segundos. Sabendo esse valor e sabendo que a distância percorrida em cada medição é de 500 m, pode-se estimar a velocidade média  $V_{\text{med}}$ , em km/h, desenvolvida pelo ciclista ao longo do trajeto. Os tempos de medição  $T_{\text{medição}}$  e as velocidades médias  $V_{\text{med}}$ , para cada medição, estão listados na tabela constante no Apêndice B. A média das velocidades médias  $V_{\text{med}}$ , desenvolvidas em todas as medições foi de 14,1 km/h.

Ao analisarem-se as velocidades médias  $V_{\text{med}}$  desenvolvidas pelo ciclista D, pode-se identificar que em todas as suas medições, com exceção da realizada no pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) com a bicicleta *mountain bike* (MB), os seus valores ficaram bem inferiores a média geral de 14,1 km/h. Este fato pode ser a explicação dos seus baixos valores de exposição diária à vibração A(8), se comparados aos valores dos outros ciclistas.

Em uma análise sob outro ponto de vista, fixa-se na equação (3) o valor da exposição diária a vibração A(8) como sendo o valor de ação de exposição (VAE) ou o valor limite de exposição (VLE) e calcula-se para cada avaliação, respectivamente, o tempo máximo de exposição diária à vibração para que seja atingido o valor de ação de exposição,  $T_{\text{maxVAE}}$ , e o tempo máximo de exposição diária à vibração para que seja atingido o valor limite de exposição,  $T_{\text{maxVLE}}$ . Os resultados desses parâmetros podem ser visualizados na sua integralidade na tabela presente no Apêndice B. A Figura 14 apresenta um gráfico mostrando  $T_{\text{maxVAE}}$  para os três tipos de pavimento avaliados. Tempos de exposição maiores que 8h são indicados, por conveniência, como 8h. Essa situação é a apresentada por se caracterizar como a de maior exigência, pois uma vez que os tempos de exposição à vibração para atingir VAE

são respeitados, naturalmente os tempos de exposição à vibração para atingir VLE também serão.

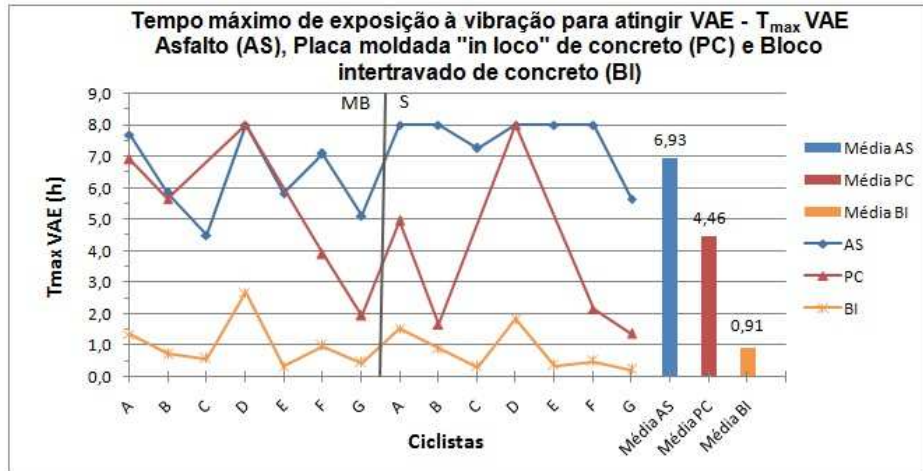


Figura 14 - Tempo máximo de exposição à vibração para atingir VAE para os pavimentos avaliados.

Como pode ser observado no gráfico acima, os maiores tempos máximos de exposição à vibração para que seja atingido VAE,  $T_{max} VAE$ , são encontrados no pavimento de asfalto (AS), seguido pelo pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e pelo pavimento de blocos intertravados de concreto (BI). Neste último, o valor médio de  $T_{max} VAE$  vale 0,91 h, o equivalente a 55 min, o que representa um tempo admissível de exposição diária relativamente baixo para a prática da atividade ciclística. Em alguns avaliações, inclusive, os tempos  $T_{max} VAE$  são próximos ou inferiores a 30 min.

### 3.2. DA AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA VIBRAÇÃO NA ATIVIDADE CICLÍSTICA

Os resultados completos da avaliação subjetiva da vibração na atividade ciclística estão apresentados na tabela constante no Apêndice C. A seguir são apresentados os principais resultados, por intermédio de gráficos comparativos entre as configurações avaliadas.

Ao final de cada medição, o ciclista foi solicitado a dar uma nota segundo uma escala de 0 a 5, quanto ao grau de conforto do trajeto. As notas equivalem a conceitos, que variam de muito ruim (de 0 a 1), ruim (de 1,1 a 2), regular (de 2,1 a 3), bom (de 3,1 a 4) a muito bom (de 4,1 a 5). O gráfico abaixo apresenta os conceitos atribuídos pelos ciclistas para cada um dos tipos de pavimentos avaliados.

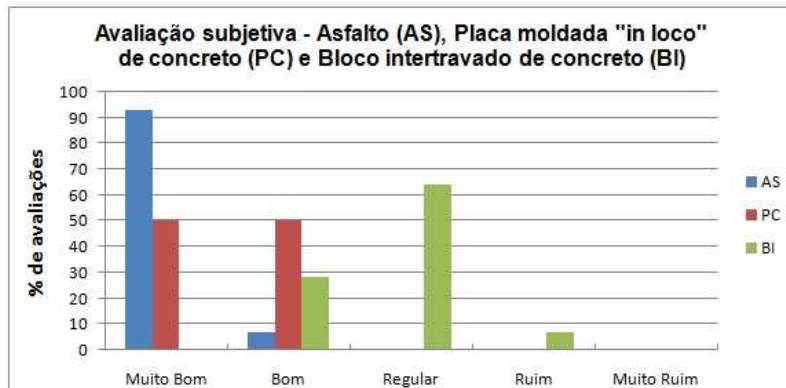


Figura 15 - Conceitos atribuídos pelos ciclistas para cada um dos pavimentos avaliados.



Como visualizado no gráfico acima, para o pavimento de asfalto (AS) os conceitos atribuídos se concentraram em mais de 90% para muito bom, com o restante em bom. Já para o pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) os conceitos dividiram-se igualmente entre muito bom e bom. Por fim, para o pavimento de blocos intertravados de concreto (BI), os conceitos atribuídos dividiram-se entre bom, com 29% das avaliações, regular, com 64% das avaliações, e ruim, com 7% das avaliações.

Além disso, o ciclista foi solicitado a emitir sua opinião sobre a qualidade do trajeto, tendo como possibilidades de resposta as alternativas: “aceitável”, “inaceitável” e “indeciso”. Para esse quesito, todas as opiniões foram para a opção “aceitável”, com exceção de uma opinião para “indeciso” e uma opinião para “inaceitável” nas avaliações do pavimento de blocos intertravados de concreto (BI).

Assim, segundo a avaliação subjetiva dos ciclistas, podem-se ordenar os tipos de pavimentos, quanto ao grau de conforto oferecido em relação à vibração, sendo o asfalto (AS) o pavimento mais adequado para a atividade ciclística, seguido das placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e dos blocos intertravados de concreto (BI). Essa classificação é a mesma que foi obtida pela avaliação objetiva da vibração na atividade ciclística.

#### 4. CONCLUSÕES

Segundo a avaliação objetiva da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço, dependendo das condições de exposição, este fenômeno pode estar consideravelmente presente na atividade ciclística, de modo que a manutenção da exposição diária à vibração A(8) dentro dos limites estabelecidos pela Diretiva 2002/44/EC é de fundamental importância para a garantia da conservação da saúde dos ciclistas.

Para uma duração diária de exposição T de 2h, as avaliações realizadas no pavimento de asfalto (AS) apresentaram os menores valores de exposição diária a vibração A(8), com todos os valores abaixo do valor de ação de exposição (VAE). Já no pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) têm-se exposições relativamente maiores, inclusive com algumas avaliações acima do valor de ação de exposição (VAE). No pavimento de blocos intertravados de concreto (BI) as exposições atingem valores consideravelmente maiores, com todas as avaliações, exceto uma, acima do valor de ação de exposição (VAE) e com algumas exposições acima do valor limite de exposição (VLE).

Em relação à análise do tempo máximo de exposição diária à vibração para que seja atingido o valor de ação de exposição,  $T_{\max}VAE$ , os maiores tempos admissíveis são encontrados no pavimento de asfalto (AS), seguido pelo pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e pelo pavimento de blocos intertravados de concreto (BI). Neste último pavimento, o valor médio de  $T_{\max}VAE$  é inferior a 1 h, com algumas avaliações com valores próximos a 30 min.

Dessa maneira, em relação à exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço, considera-se o pavimento de asfalto (AS) como o mais indicado para a atividade ciclística, seguido pelo pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e do pavimento de blocos intertravados de concreto (BI). Essa classificação também é a resultante da avaliação subjetiva da exposição à vibração.

Em relação à influência do modelo de bicicleta na exposição à vibração, em algumas avaliações a bicicleta *speed* (S) apresentou melhor desempenho e em outras a bicicleta *mountain bike* (MB). Porém, no geral, não houve uma variação muito significativa nas exposições à vibração entre os dois modelos.

Em relação à influência das características físicas dos ciclistas na exposição à vibração, particularmente em relação as suas massas, não é possível identificar uma tendência de comportamento dos valores de exposição à vibração devido a essa variação.

## REFERÊNCIAS

- BALBINOT, Alexandre. **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.
- BRÜEL & KJAER. **Le vibrazioni del corpo umano.** Folheto Técnico, 2000.
- CHAFFIN, D. B.; ANDERSSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. **Occupational Biomechanics.** U.S.A: Wiley-Interscience, 1999.
- 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.
- FERNANDES, J. C. **Segurança nas vibrações sobre o corpo humano.** 2000.
- GRIFFIN, M. J. **Handbook of human vibration.** U.S.A: Academic Press, 1990.
- GRIFFIN, M. J.; HOWARTH H. V. C.; PITTS, P. M.; FISCHER, S.; KAULBARS, U.; DONATI, P. M.; BERETON, P. F. **Guide do good practice on Hand-Arm Vibration.** 2006.
- HOY, J.; MURABARAK, N. **The effects of whole body vibration on forklift drivers.** 2<sup>nd</sup> International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, pp. 19-20, 2000.
- 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.
- LEI COMPLEMENTAR N° 626. **Plano Diretor Cicloviário Integrado.** Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 15/07/2009.
- 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 27/04/2010.
- PELMEAR, K.; COGGON, D.; PANNETT, B. GRIFFIN, M. **The development of a self-administered questionnaire to asses exposures to hand-transmitted and whole-body vibration and their health effects.** Journal of Sound and Vibration, pp 653-686, 1998.

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

REHN, B.; LÜNDSTRÖM, R.; NILSSON, T.; BERGDAHL, I. A.; AHLGREN, C.; SUNDELIN, G. **Musculoskeletal symptoms among drivers of all-terrain vehicles.** 2<sup>nd</sup> International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, pp. 7-9, 2000.

TRIPEPI, M.G.; CANTIO, M.; SAFFIOTI, G. **Risk and effects of WBV in locomotive engineers.** 2<sup>nd</sup> International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, 2000.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Questionário para avaliação subjetiva da vibração na atividade ciclística

Medida subjetiva de conforto para pavimentos cicloviários		
Dados	Avaliação	Escala
Data:	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>Muito bom</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Bom</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Regular</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Ruim</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Muito ruim</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>0</b></p> </div> </div>	5
Pavimento: AS ( ) BI ( ) PC ( )		4
Extensão do trecho (km):		3
Tipo de bicicleta: MB ( ) S ( )		2
<b>Ciclista</b>		1
Nome:		0
Sexo: M ( ) F ( )		
Idade (anos):		
Massa (kg):		
Altura (m):		
IMC:		
Emita sua opinião sobre a qualidade do trecho: <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <span>( ) aceitável</span> <span>( ) inaceitável</span> <span>( ) indeciso</span> </div>		
		<b>Observações</b>

APÊNDICE B – Tabela geral dos resultados da avaliação objetiva da vibração na atividade ciclística

Medição	ID	Pavimento	Bicicleta	Ciclista	T medição (s)	$V_{med}$ (km/h)	$a_{rms}$ ( $m/s^2$ )	$a_{rmsv}$ ( $m/s^2$ )	$a_{rmsv}$ ( $m/s^2$ )	$a_{hv}$ ( $m/s^2$ )	T (h)	A(8) ( $m/s^2$ )	$T_{max}$ VAE (h)	$T_{max}$ VLE (h)
1	BIC18	AS	MB	A	120	15,0	0,9886	1,6711	1,6520	2,5493	2,0	1,27	7,69	8,00
2	BIC21	AS	MB	B	110	16,4	1,0316	1,5922	2,2233	2,9227	2,0	1,46	5,85	8,00
3	BIC16	AS	MB	C	112	16,1	0,9441	1,6730	2,7258	3,3347	2,0	1,67	4,50	8,00
4	BIC20	AS	MB	D	163	11,0	0,8026	1,0012	1,0977	1,6866	2,0	0,84	8,00	8,00
5	BIC17	AS	MB	E	121	14,9	0,7931	1,6711	2,2673	2,9262	2,0	1,46	5,84	8,00
6	BIC19	AS	MB	F	134	13,4	0,7278	1,6924	1,9099	2,6536	2,0	1,33	7,10	8,00
7	BIC15	AS	MB	G	117	15,4	0,7656	1,6051	2,5674	3,1232	2,0	1,56	5,13	8,00
8	BIC26	AS	S	A	123	14,6	1,3788	0,6259	1,5118	2,1397	2,0	1,07	8,00	8,00
9	BIC27	AS	S	B	114	15,8	1,5560	0,8385	1,6218	2,3988	2,0	1,20	8,00	8,00
10	BIC23	AS	S	C	115	15,7	1,3772	0,9173	2,0370	2,6244	2,0	1,31	7,26	8,00
11	BIC28	AS	S	D	188	9,6	1,1350	0,7228	1,0814	1,7263	2,0	0,86	8,00	8,00
12	BIC24	AS	S	E	157	11,5	1,1429	0,6902	1,2274	1,8136	2,0	0,91	8,00	8,00
13	BIC25	AS	S	F	146	12,3	1,1337	0,6501	1,4355	1,9413	2,0	0,97	8,00	8,00
14	BIC22	AS	S	G	107	16,8	1,7478	0,8600	2,2491	2,9754	2,0	1,49	5,65	8,00
15	BIKE8	PC	MB	A	135	13,3	1,8514	0,8902	1,7358	2,6895	2,0	1,34	6,91	8,00
16	BIKE11	PC	MB	B	140	12,9	1,9165	0,9473	2,0678	2,9742	2,0	1,49	5,65	8,00
17	BIKE10	PC	MB	D	119	15,1	1,4272	0,9068	1,7041	2,4007	2,0	1,20	8,00	8,00
18	BIKE9	PC	MB	F	122	14,8	2,3442	0,8640	2,5556	3,5740	2,0	1,79	3,91	8,00
19	BIKE7	PC	MB	G	105	17,1	3,4002	1,1363	3,5851	5,0700	2,0	2,54	1,95	7,78
20	BIKE5	PC	S	A	116	15,5	2,3308	0,6060	2,0701	3,1757	2,0	1,59	4,96	8,00
21	BIKE6	PC	S	B	120	15,0	3,8282	0,9784	3,7888	5,4743	2,0	2,74	1,67	6,67
22	BIKE4	PC	S	D	152	11,8	1,3002	0,9716	1,4421	2,1712	2,0	1,09	8,00	8,00
23	BIKE3	PC	S	F	129	14,0	2,9957	0,7219	3,7025	4,8171	2,0	2,41	2,15	8,00
24	BIKE2	PC	S	G	110	16,4	4,2806	1,1455	4,1210	6,0513	2,0	3,03	1,37	5,46
25	BIC13	BI	MB	A	131	13,7	2,4071	4,4566	3,3458	6,0704	2,0	3,04	1,36	5,43
26	BIC14	BI	MB	B	118	15,3	3,5197	4,9204	5,6951	8,3086	2,0	4,15	0,72	2,90
27	BIC9	BI	MB	C	115	15,7	1,7844	6,3168	6,7143	9,3898	2,0	4,69	0,57	2,27
28	BIC11	BI	MB	D	177	10,2	1,7179	2,9040	2,6946	4,3181	2,0	2,16	2,68	8,00
29	BIC10	BI	MB	E	100	18,0	3,2810	7,7268	8,9125	12,2434	2,0	6,12	0,33	1,33
30	BIC12	BI	MB	F	165	10,9	1,8772	5,3027	4,4978	7,2023	2,0	3,60	0,96	3,86
31	BIC8	BI	MB	G	107	16,8	2,1208	7,4559	7,4473	10,7495	2,0	5,37	0,43	1,73
32	BIC7	BI	S	A	153	11,8	3,8827	1,8030	3,8282	5,7093	2,0	2,85	1,53	6,14
33	BIC6	BI	S	B	163	11,0	4,6505	2,1928	5,3150	7,3949	2,0	3,70	0,91	3,66
34	BIC2	BI	S	C	102	17,6	7,5249	2,1135	10,0000	12,6922	2,0	6,35	0,31	1,24
35	BIC5	BI	S	D	200	9,0	3,0514	1,0877	4,0785	5,2085	2,0	2,60	1,84	7,37
36	BIC3	BI	S	E	130	13,8	6,8549	1,7580	9,4842	11,8316	2,0	5,92	0,36	1,43
37	BIC4	BI	S	F	145	12,4	5,5271	1,2345	8,3849	10,1183	2,0	5,06	0,49	1,95
38	BIC1	BI	S	G	107	16,8	8,3560	4,3652	11,4683	14,8459	2,0	7,42	0,23	0,91

APÊNDICE C – Tabela geral dos resultados da avaliação subjetiva da vibração na atividade ciclística

ID - Avaliação Objetiva	Pavimento	Bicicleta	Ciclista	Avaliação Subjetiva		
				Escala	Conceito	Opinião
BICI 1	BI	S	G	3,0	Regular	Aceitável
BICI 2	BI	S	C	2,5	Regular	Aceitável
BICI 3	BI	S	E	2,5	Regular	Aceitável
BICI 4	BI	S	F	3,0	Regular	Aceitável
BICI 5	BI	S	D	3,0	Regular	Aceitável
BICI 6	BI	S	B	1,5	Ruim	Inaceitável
BICI 7	BI	S	A	2,5	Regular	Indeciso
BICI 8	BI	MB	G	3,5	Bom	Aceitável
BICI 9	BI	MB	C	2,5	Regular	Aceitável
BICI 10	BI	MB	E	2,5	Regular	Aceitável
BICI 11	BI	MB	D	4,0	Bom	Aceitável
BICI 12	BI	MB	F	4,0	Bom	Aceitável
BICI 13	BI	MB	A	3,5	Bom	Aceitável
BICI 14	BI	MB	B	3,0	Regular	Aceitável
BICI 15	AS	MB	G	4,5	Muito Bom	Aceitável
BICI 16	AS	MB	C	4,5	Muito Bom	Aceitável
BICI 17	AS	MB	E	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 18	AS	MB	A	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 19	AS	MB	F	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 20	AS	MB	D	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 21	AS	MB	B	4,5	Muito Bom	Aceitável
BICI 22	AS	S	G	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 23	AS	S	C	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 24	AS	S	E	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 25	AS	S	F	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 26	AS	S	A	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 27	AS	S	B	4,7	Muito Bom	Aceitável
BICI 28	AS	S	D	4,0	Bom	Aceitável
BIKE 2	PC	S	G	3,5	Bom	Aceitável
BIKE 3	PC	S	F	5,0	Muito Bom	Aceitável
BIKE 4	PC	S	D	4,0	Bom	Aceitável
BIKE 5	PC	S	A	4,0	Bom	Aceitável
BIKE 6	PC	S	B	4,0	Bom	Aceitável
BIKE 7	PC	MB	G	4,0	Bom	Aceitável
BIKE 8	PC	MB	A	4,5	Muito Bom	Aceitável
BIKE 9	PC	MB	F	5,0	Muito Bom	Aceitável
BIKE 10	PC	MB	D	5,0	Muito Bom	Aceitável
BIKE 11	PC	MB	B	4,5	Muito Bom	Aceitável



## ANEXOS

### ANEXO A – Certificado de calibração do acelerômetro



# 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	<b>Test Conditions:</b>	
Dytran 5313M4 (VI-400)	S/N: 647	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.questtechnologies.com](http://www.questtechnologies.com)

An ISO 9001 Registered Company

Page 1 of 1