

Artigo Original

recebido em 23/07/2001 e aceito em 11/04/2002

**Avaliação da transmissibilidade
da vibração em bancos de moto-
ristas de ônibus urbanos: um
enfoque no conforto e na saúde**

*Evaluation of the transmissibility of
the vibration in seats of bus drivers:
a focus on comfort and health*

Alexandre Balbinot

UTP – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia
PUCRS – Faculdade de Engenharia
e-mail: abalbinot@uol.com.br

Alberto Tamagna

UFRGS – Escola de Engenharia
Av. Ipiranga, 6681 - Cep.: 90619-900
Porto Alegre – RS – Brasil
e-mail: tamagna@vortex.ufrgs.br

Resumo

Este artigo apresenta um estudo para caracterizar a transmissibilidade dos assentos e os níveis de vibrações a que estão sujeitos os motoristas de ônibus urbanos com relação ao conforto e saúde. As medições foram realizadas de acordo com as recomendações da norma ISO 2631-1 (1997), utilizando-se acelerômetros uni-axiais, um computador com placa conversora analógica para digital (A/D) e programas desenvolvidos na plataforma de programação gráfica HPVee para a aquisição e avaliação dos níveis de vibrações. Os ensaios foram realizados em uma rota comercial com sete modelos de ônibus. Segundo os resultados deste trabalho os níveis de vibrações com relação ao conforto ultrapassaram os recomendados pela norma. Na faixa de frequência de 4 a 8 Hz, considerando-se uma exposição de 8 horas por dia, os motoristas estão expostos a níveis potencialmente danosos a saúde. Os resultados da transmissibilidade dos assentos, na faixa de frequência da ressonância da coluna vertebral, demonstraram que os assentos apresentaram comportamento dinâmico inadequado deixando os motoristas expostos aos problemas derivados da exposição à vibração.

Palavras chaves: Vibração no corpo humano, Transmissibilidade da vibração.

Abstract

This paper presents a study to characterize the transmissibility of the seats and the vibrations level that urban busdrivers are subjected in relation to comfort and health. The mensurations were made in according to ISO 2631-1 (1997) recommendations, being used uni-axial accelerometers, a computer with analog to digital converter (ADC) and programs developed at the graphic program platform HPVee to the acquisition and the evaluation of the vibrations level. The trials were accomplished in a commercial urban route with seven bus models. According to the results of this work, the vibrations levels in relation to the confort exceeded the ones recommended by the ISO. At the frequency range from 4 to 8 Hz being considered an exhibition of 8 hours a day, the drivers are potentially exposed at health harmful levels. The results at the seats transmissibility at the frequency range of the spine resonance demonstrated that the seats presented inadequate dynamic behavior leaving the drivers exposed to the derived problems of the exhibition at the vibration.

Keywords: Vibration in the human body, Vibration transmissibility.

Extended Abstract**Introduction**

According to Palmer et al. (2000) vibration is appointed as one of the most common occupational risks in the Britannic Industry, being directly related to incidences of back pain in professional drivers. White et al. (1990) said that the use of motorized vehicles represents a significant risk when related to back problems. The objective of this study was to evaluate the dynamic behavior of the seats (transmissibility) and levels of vibration to which drivers are subject to. This study is justified by the growing necessity of research that helps in the comprehension of how the vibration is transmitted to the human body and its influence in comfort, productivity and health.

Material and Methods

The experimental system is composed of uni-axel accelerometers, a computer with an internal analog to digital board (PCM-DAS16/330 of Computer Boards) and a computational package developed for acquisition and treatment of

the experimental data. The vertical vibration was simultaneously measured at the base of the seat and the interface between the seat and the person. The data was acquired throughout a rout of approximately 18 km. Afterwards the data was filtered, in bands of 1/3 of an octave, and pondered according to the recommendations of the norm ISO2631-1 (1997). When a person is seated the exposure to vibration can be determined by the r.m.s. acceleration obtained by an interface, positioned between the body and the seat, or by the determination of the transmissibility of the seat (comparing the acceleration of the seat with its base). One of the most used methods to determine the transmissibility is the SEAT (Seat Effective Amplitude Transmissibility) parameter, which can evaluate the efficiency of the absorption of the seat (Griffin, 1990). Another way of determining the transmissibility is by obtaining the result in frequency of the seat $H(w)$:

$$H(w) = \frac{|A_s(w)|}{|A_e(w)|} \quad (1)$$

where $A_s(w)$ is the acceleration in the interface person-seat in the domain of the frequency and $A_e(w)$ is the acceleration at the base of the seat in the frequency domain.

Results and Discussions

Through the results of this study it's verifiable that the levels of vibration exceed the recommendations for comfort for 4 hour exposure, which is the average exposure time of a bus driver. Related to health, it was evident that, for an exposure of 4 hours, the vibrations generated by the motor vehicles didn't go beyond recommended limits. The transmissibilities obtained for the seats show that, in the range of resonance of the vertebral column, the seats didn't present adequate dynamic behavior, which suggests possible unhealthy exposition to the back.

Introdução

Segundo Palmer *et al.* (2000) a vibração é apontada como um dos riscos ocupacionais mais comuns na indústria britânica, estando 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). Cabe salientar que o termo *dor nas costas* é usado para indicar a dor na coluna cervical, torácica e lombar que não está relacionada a infecções, tumores, doenças sistêmicas e fraturas.

O corpo humano pode ser caracterizado como uma sofisticada estrutura biomecânica e a sensibilidade à vibração pode envolver diversos fatores, tais como, postura, tensão muscular, frequência, amplitude e direção da vibração, além do que, a duração e a dose da exposição. Chaffin *et al.* (1999) apresentam um modelo biomecânico indicando que a ressonância ocorre em diferentes frequências para diferentes pontos do sistema e observaram que exposições à vibração vertical, na faixa de 5 a 10 Hz, causam ressonância no sistema tórax-abdômen e na faixa de 20 a 30 Hz no sistema cabeça-pescoço-ombros.

Panjabi *et al.* (1986) concluíram que a transmissibilidade na coluna vertebral é maior na faixa de 4 a 5 Hz e que muitos dos veículos a motor apresentam frequências nesta particular faixa (fontes potenciais de risco à coluna vertebral). Bovenzi *et al.* (1996) concluíram que motoristas de tratores, de caminhões de lixo e de veículos fora de estrada, apresentavam uma maior incidência de problemas, na região das costas, do que outros trabalhadores não expostos à vibração ocupacional. Kelsey e Hardy (*apud* Troup, 1978) encontraram que motoristas de veículos apresentavam um grande risco de desenvolverem problemas de hérnia de disco. Também relataram que a maior carga dinâmica no tronco humano e na espinha, ocorre quando o corpo está na postura sentada, vibrando

verticalmente na faixa de 4 a 8 Hz (frequência natural da região do tronco humano).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento dinâmico dos assentos (transmissibilidade) e os níveis de vibrações a que estão sujeitos os motoristas de ônibus. Este trabalho justifica-se pela necessidade crescente do desenvolvimento de pesquisas que permitam compreender como a vibração é transmitida ao corpo humano e sua influência no conforto, no desempenho das atividades ocupacionais e na saúde. Salientando que a Organização Mundial da Saúde e o Ministério da Saúde do Brasil (Portaria 1339, 1999) consideram as vibrações como agente de risco de natureza ocupacional. Cabe ressaltar que o Ministério da Saúde do Brasil não determina limites de tolerância para vibrações ocupacionais.

Materiais e métodos

Variáveis Experimentais Controláveis

Como o interesse na saúde ocupacional é relativamente recente no país e o impacto das vibrações no corpo humano é um assunto de pouca divulgação, optou-se por trabalhar no ramo de transporte coletivo, em função do seu grande impacto social e econômico em qualquer cidade. Uma empresa de transporte da região concedeu sua estrutura de pessoal e de veículos (marcas e modelos mais utilizados pela empresa) para realização deste experimento. O grupo experimental foi constituído por dois motoristas do sexo masculino, que previamente receberam esclarecimentos sobre os ensaios e assim aceitaram participar de acordo com as características metodológicas deste trabalho e pelos veículos descritos resumidamente na Tabela 1. Os ensaios foram realizados em uma rota comercial, permitindo assim, a verdadeira reprodução do ato de dirigir na cidade de Porto Alegre. O percurso apresentava uma distância da ordem de 18 km e os pisos asfalto e paralelepípedo.

Tabela 1. Modelos de ônibus utilizados nos ensaios **Table 1.** Characteristics of used bus in this study.

Características básicas	Fabricantes do chassi						
	Fábrica-1	Fábrica-1	Fábrica-2	Fábrica-2	Fábrica-2	Fábrica-3	Fábrica-3
Ano do veículo	1996	1997	1991	1992	1998	1995	1998
Denominação	F196	F197	F291	F292	F298	F395	F398
Combustível	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
Localização do motor	Frente	Frente	Frente	Frente	Atrás	Centro	Centro
RPM (ponto morto)	760 a 800	760 a 800	600	600	600	530 ± 50	530 ± 50
Peso do ônibus (kg)	11000	11000	11000	11000	12000	18000	18000
Caixa	Manual	Manual	Manual	Manual	Automática	Automática	Automática
Lotação sentada	46	46	45	45	47	62	59

Instrumentos Normativos

A percepção da vibração pelo corpo humano e seus efeitos no conforto, nas atividades ocupacionais e na saúde, são dependentes da distribuição da vibração pelo corpo, determinada pela postura e pela vibração na(s) interface(s) entre o corpo e o ambiente. Quando uma pessoa está sentada, a exposição à vibração pode ser determinada pela aceleração r.m.s. obtida em uma interface, posicionada entre o corpo e o assento ou pela determinação da transmissibilidade deste assento (comparação da aceleração no assento e na base do mesmo). Um dos métodos mais usados para determinação da transmissibilidade é o parâmetro *SEAT* (*Seat Effective Amplitude Transmissibility*) que possibilita avaliar a eficiência da isolamento de um assento (Griffin, 1990). Um *SEAT* de 100% indica que não existe melhoramento ou degradação no desconforto produzido pelo assento; se o valor do *SEAT* é maior do que 100%, o desconforto causado pela vibração é aumentado pelo assento e se o *SEAT* é menor do que 100% indica que o assento isolou parte da vibração. O *SEAT* é obtido pela relação:

$$SEAT = \frac{VDV_{no_assento}}{VDV_{no_piso}} \times 100 \quad (1)$$

onde *VDV* é a dose de vibração cumulativa no assento e no piso do veículo. O parâmetro *VDV* (*Vibration Dose Value*) é determinado pela relação:

$$VDV = \left[\frac{T_s}{N} \sum x^4(i) \right]^{1/4} \quad (2)$$

onde *VDV* ($m/s^{1,75}$) é uma medida cumulativa usualmente calculada com a aceleração ponderada $x(i)$ (m/s^2), T_s (s) é o período de duração do movimento, ou seja, o período total do dia durante a ocorrência da vibração e N a quantidade de amostras. Outro método utilizado para determinar a transmissibilidade é a obtenção da resposta em frequência do assento $H(w)$.

$$H(w) = \frac{A_s(w)}{A_e(w)} \quad (3)$$

onde $A_s(w)$ é a aceleração na interface pessoa assento no domínio da frequência e $A_e(w)$ é a aceleração na base do assento no domínio da frequência.

As edições da norma ISO 2631 apresentam curvas limites (para conforto, saúde e fadiga), de aceleração máxima recomendadas para cada tempo de exposição: de um minuto a doze horas. Segundo a norma a faixa de frequência na qual o corpo humano apresen-

ta maior sensibilidade é a de 1 a 80 Hz. De acordo com as normas ISO 2631-1 (1997) e BS 6841 (1987) *VDVs* suficientemente altos podem causar severo desconforto, dores e ferimentos. As normas salientam que vibrações que produzem *VDVs* na região de $15 m/s^{1,75}$, usualmente causam severo desconforto. Além disso, fornecem os seguintes valores de aceleração r.m.s. como uma indicação das reações com relação ao conforto (Tabela 2).

Tabela 2. Faixas para conforto. **Table 2.** Indications of the confort to various magnitudes of vibration.

Aceleração r.m.s. (m/s^2)	Reações com relação ao conforto
$< 0,315 m/s^2$	confortável
$0,315 a 0,63 m/s^2$	um pouco desconfortável
$0,8 a 1,6 m/s^2$	desconfortável
$1,25 a 2,5 m/s^2$	muito desconfortável
$> 2,0 m/s^2$	extremamente desconfortável

Sistema Experimental

O sistema experimental é composto por acelerômetros uni-axiais, um computador com placa A/D interna PCM-DAS16/330 (*Computer Boards*) e um pacote computacional de aquisição e processamento desenvolvido na plataforma HPVee (*Hewlett-Packard Visual Engineering Environment*). A vibração vertical foi simultaneamente medida no assento (acelerômetro 2) e na base do banco (acelerômetro 1) junto ao piso do ônibus (a Figura 1 apresenta o esboço da localização dos acelerômetros).

Um micro-acelerômetro uni-axial de massa 0,4 g, Isotron 2250A/AM1-10 (Endevco), foi utilizado para medir os níveis de vibração no assento do banco e um acelerômetro uni-axial 4338 (Brüel & Kjaer), na base do banco. Os dados foram adquiridos (frequência de amostragem de 1.500 Hz) ao longo de uma rota comercial, totalizando de 40 a 70 ensaios por viagem. Posteriormente foram processados pelo programa desenvolvido, filtrados em bandas de 1/3 de oitavas (frequências centrais de 4 a 80 Hz) e ponderados de acordo com as recomendações da norma ISO2631-1 (1997).

Avaliação Estatística

O método estatístico utilizado foi a Análise de Variância (ANOVA) com nível de significância α de 95% de confiabilidade. Esta técnica possibilitou estudar, simultaneamente, vários fatores que influenciam a variabi-

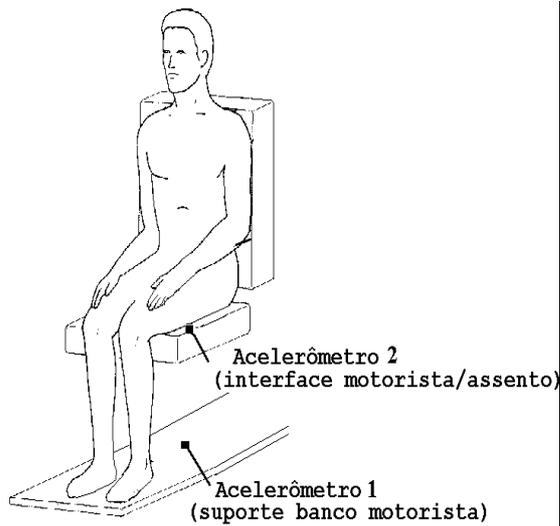


Figura 1. Esboço da localização dos acelerômetros utilizados para medir os níveis de vibração. **Figure 1.** Accelerometers set-up.

lidade dos dados, como por exemplo, os diferentes motoristas, os modelos de ônibus e os pisos da rota comercial utilizada neste ensaio.

Resultados e Discussões

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos, para o piso asfalto e paralelepípedo, comparados aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631 para o veículo F395. Os resultados deste trabalho indicaram

que, na faixa de frequência de 4 a 8 Hz, considerando-se uma exposição de 8 horas por dia, os motoristas apresentaram, independentemente do tipo de piso, acelerações que ultrapassaram os níveis estabelecidos pela norma ISO 2631 para saúde. Porém, para uma exposição de 4 horas, os níveis para saúde não foram ultrapassados. Os trabalhos de Tripepi *et al.* (2000) e Ishitake *et al.* (2000) mostraram que, na faixa de frequência de 1 a 30 Hz, as pessoas apresentavam dificuldades para manter a postura e reflexos, exatamente a faixa que apresentou as maiores acelerações neste trabalho. White *et al.* (1990) também registraram que veículos a motor são fatores bem estabelecidos como geradores de problemas na região das costas, principalmente após 3 horas de exposição.

Os resultados obtidos demonstraram que os motoristas destes veículos não devem exercer suas atividades por 8 horas, pois estarão sujeitos a índices potencialmente danosos a sua saúde. Além disso, observou-se que os maiores índices de aceleração encontraram-se justamente na faixa de frequência de 4 a 8 Hz, onde a massa abdominal, ombros e pulmões apresentam grande sensibilidade à vibração vertical como constatou também Gerges (1992).

Com relação ao conforto, todos os veículos apresentaram índices que ultrapassaram os níveis estabelecidos, o que também pode estar relacionado ao cansaço e problemas físicos que os motoristas profissionais normalmente apresentam. Segundo Griffin (1990) na frequência de 4 Hz, o conforto diminui com o aumento do tempo de exposição, exatamente em uma

Tabela 3. Resultados do veículo F395 comparados aos limites da ISO 2631-1. **Table 3.** Vibration measurement in vehicles (results - bus F395).

Frequência central (Hz)	Limites da ISO 2631-1 (1997) [m/s ²]				Média ± desvio padrão [m/s ²]	
	Saúde		Conforto		Tipos de Pisos	
	4 horas	8 horas	4 horas	8 horas	Asfalto	Paralelepípedo
4,0	1,06	0,63	0,17	0,10	0,88 ± 0,10	0,75 ± 0,10
5,0	1,06	0,63	0,17	0,10	0,94 ± 0,09	1,00 ± 0,10
6,3	1,06	0,63	0,17	0,10	0,97 ± 0,07	0,94 ± 0,10
8,0	1,06	0,63	0,17	0,10	0,86 ± 0,10	0,93 ± 0,12
10,0	1,34	0,80	0,21	0,13	0,97 ± 0,07	0,92 ± 0,07
12,5	1,70	1,00	0,27	0,16	0,94 ± 0,10	0,95 ± 0,08
16,0	2,12	1,26	0,34	0,20	0,88 ± 0,07	1,06 ± 0,13
20,0	2,64	1,60	0,42	0,25	0,83 ± 0,07	1,00 ± 0,12
25,0	3,40	2,00	0,54	0,32	0,72 ± 0,09	1,01 ± 0,07
31,5	4,24	2,50	0,67	0,40	0,69 ± 0,08	0,96 ± 0,08
40,0	5,30	3,20	0,84	0,51	0,60 ± 0,11	0,96 ± 0,11
50,0	6,70	4,00	1,06	0,63	0,55 ± 0,10	0,94 ± 0,10
63,0	8,50	5,00	1,35	0,79	0,55 ± 0,11	0,92 ± 0,04
80,0	10,60	6,30	1,68	1,00	0,54 ± 0,11	1,01 ± 0,05

das frequências que apresentaram os maiores níveis de acelerações neste trabalho. Os resultados obtidos no presente trabalho demonstraram que os motoristas destes veículos não devem exercer suas atividades por 8 horas, pois estarão sujeitos a índices potencialmente danosos a sua saúde. Comparado-se os resultados com a norma BS 6841 (1987), para verificação do nível de conforto dos assentos, na frequência de 4 Hz, observa-se que estão na faixa considerada *pouco desconfortável a médio desconfortável*.

Analisando-se o parâmetro VDV (a Figura 2 apresenta os VDV's obtidos para os diversos pisos do trajeto: asfalto e paralelepípedo com relação aos anos de fabricação e assentos dos motoristas) percebe-se que todos os veículos deste estudo apresentaram um VDV, para exposição de 6 horas, na faixa de 9,7 a 11,5 m/s^{1,75} o que estaria em uma faixa intermediária entre des-

conforto severo e nenhum desconforto, segundo a norma BS 6841 (1987). Com exceção do veículo F298, todos os outros apresentaram maiores VDV's no piso paralelepípedo comparado ao piso asfalto.

As transmissibilidades dos veículos foram obtidas pelos dois métodos descritos neste trabalho (resposta em frequência e parâmetro SEAT). A Figura 3 apresenta as transmissibilidades do veículo F196 para o piso asfalto e paralelepípedo. Segundo os resultados alcançados pode-se verificar que a transmissibilidade, na faixa de frequência de 4 a 10 Hz, são as mais elevadas e normalmente superiores a 1, ou seja, para esta faixa de frequência os bancos destes veículos não atenuam a vibração. Os resultados demonstraram que a transmissibilidade principalmente na faixa de frequência de 4 a 10 Hz é maior no piso paralelepípedo do que no asfalto.

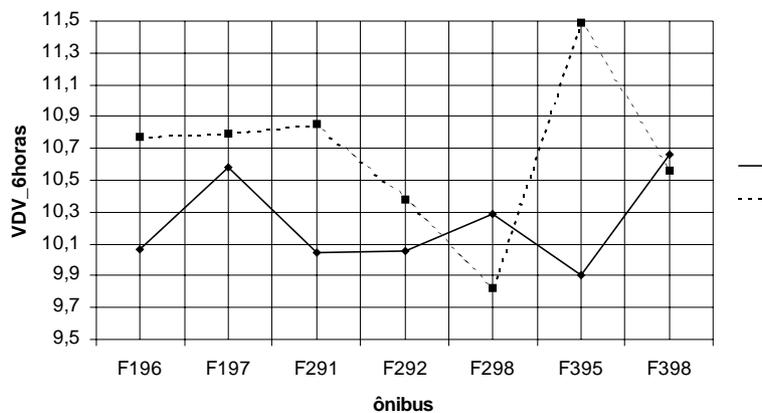


Figura 2. Comparação dos VDV's nos assentos dos motoristas de ônibus comparados aos anos de fabricação. **Figure 2.** - VDV's values due to vehicle.

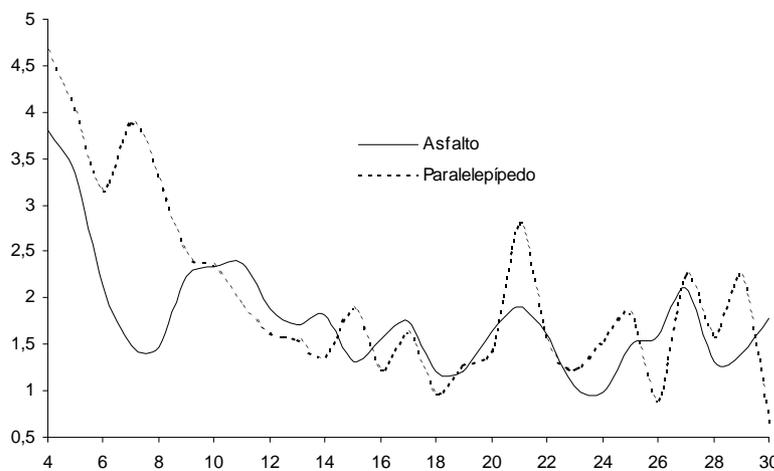


Figura 3. Transmissibilidade do assento para o veículo F196. **Figure 3.** Seat-to-body transmissibility of vertical vibration.

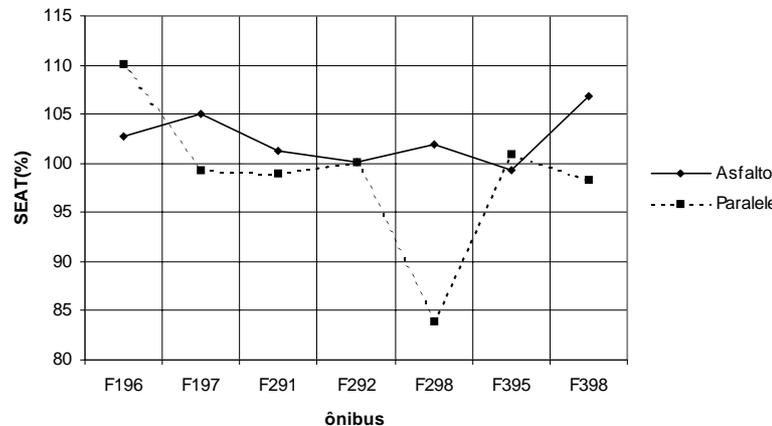


Figura 4. Parâmetro SEAT(%) dos veículos para os pisos asfalto e paralelepípedo. **Figure 4.** SEAT values measured in vehicles shown by category.

O parâmetro SEAT(%) é apresentado, para todos os veículos, no gráfico da Figura 4, onde se percebe que o banco do veículo F292 não atenua e nem amplifica a vibração. Com relação aos veículos F197, F291, F298, F398 e F395, para o piso paralelepípedo, os bancos atenuam a vibração e os restantes amplificam. Apenas os veículos F196 e F395 apresentaram o parâmetro SEAT(%) maior no piso paralelepípedo do que no piso asfalto.

Observa-se que o parâmetro SEAT(%) não faz distinção dos níveis de vibração por faixa de frequência, não possibilitando, portanto, verificar o comportamento dinâmico do assento, com relação às faixas de frequência mais importantes para a região das costas. Considerando este aspecto, os resultados obtidos para a transmissibilidade, por faixa de frequência (Figura 3) são importantes e devem ser levados em consideração, em função das frequências de ressonância de partes do corpo humano. Baseado na análise estatística pode-se verificar que existe diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os diferentes modelos de ônibus, tipos de pisos e motoristas.

Conclusões

Segundo os resultados obtidos neste trabalho pode-se verificar que os níveis de vibrações excederam os recomendados para conforto (exposição de 4 horas), que normalmente é o tempo médio de exposição diário de um motorista de ônibus. Com relação à saúde constatou-se que para uma exposição de 4 horas as vibrações geradas pelos veículos-piso-motor não ultrapassaram os limites recomendados. As transmissibilidades obtidas para os assentos mostraram, que na faixa de ressonância da região da coluna vertebral, os assentos não apresentaram comportamento dinâmico

adequado, sugerindo assim, exposição possivelmente danosa à região das costas. Estudos anteriores registraram que as vibrações estão relacionadas a diversos fatores de saúde física e mental, sendo portanto, importante à redução dos níveis de vibrações principalmente nas faixas apresentadas neste trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e à FAPERGS pelo suporte financeiro e a todos que ajudaram na realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Bovenzi, M. "Low back pain disorders and exposure to whole-body vibration in the workplace". *Seminars in Perinatology*, 1994, v. 25, n. 4, p. 231-241.
- BS 6841. "Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock". London: British Standard Guide, 1987.
- Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J., Martin, B. J. "Occupational biomechanics". New York: Wiley-Interscience, 1999.
- Gerges, S. N. Y. "Ruído: fundamentos e controle". Florianópolis: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.
- Griffin, M. J. "Handbook of human vibration". New York: Academic Press, 1990.
- Ishitake, T., Matoba, T. "Frequency weighting for the effects of exposure to whole-body vibration on gastric motility". *2nd International Conference on Whole-Body Vibration Injuries*, 2000, n. 1, p. 29-30.
- ISO 2631-1. "Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part I: general requirements". Switzerland: International Standard, 1997.
- Palmer, K. T., Griffin, M. J., Bendall, H., Pannett, B. "Preva-

- lence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey". *Occupational Environmental Medicine*, 2000, n. 57, p. 229-236.
- Panjabi, M. M., Andersson, G. B. J., Jorneus, L., Hult, E. Mattsson, L. "In vivo measurement of spinal column vibrations". *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 1986, n. 8, p. 695-702.
- Tripepi, M.G., Cantio, M., Saffioti, G. "Risk and effects of WBV in locomotive engineers". *2nd International Conference on Whole-Body Vibration Injuries*, 2000, n. 1, p. 27-28.
- Troup, J. D. G. "Driver's back pain and its prevention: a review of the postural, vibratory and muscular factors, together with the problem of transmitted road-shock". *Applied Ergonomics*, 1978, n. 9, p. 207-214.
- White, A. A., Panjabi, M. M. "*Biomechanics of the spine*". Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1990.