

ANÁLISE DE TRANSMISSIBILIDADE, CONFORTO E SAÚDE QUANTO À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO ATUANTE EM PASSAGEIROS DE ÔNIBUS LEITO EM TRAJETO INTERNACIONAL

Mário Fedatto Neto, mariofedatto@hotmail.com¹

Herbert Martins Gomes, herbert@mecanica.ufrgs.br¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Rua Sarmento Leite, 425, Porto Alegre/RS, Brasil.

Resumo: Viagens de ônibus pela América do Sul são a forma mais barata de conhecer o continente. Porém, um aspecto que é delegado muitas vezes a um segundo plano, diz respeito à qualidade e conforto do transporte. A vibração e o ruído produzido por este meio de transporte afetam a qualidade e conforto dos seus passageiros. Neste trabalho, são avaliados os níveis de vibração de corpo inteiro nos usuários de ônibus leito, em um trajeto internacional, em situações usuais de utilização. Os valores de dose de vibração e aceleração rms medidos, quando comparados com normas, mostraram-se aceitáveis. Estes valores foram avaliados na posição no assento e piso, em um único ponto no veículo, tendo sido encontrados valores entre o nível de ação e o limite de exposição (0,5 a 1,1 m/s²), e com transmissibilidade, em média, de 92% na direção do eixo z, indicando que há uma atenuação na vibração transmitida pelo assento. Em geral, os níveis de vibração medidos foram considerados desconfortáveis seguindo critérios citados em normas.

Palavras-chave: VCI, Ônibus, Conforto, Saúde, SEAT.

1. INTRODUÇÃO

Vibração, segundo Regazzi e Ximenes (2003), é descrita como um movimento repetitivo, periódico ou aleatório, a partir da posição de repouso, de um elemento da estrutura ou peça de uma máquina. De aparecimento inevitável, e causando perda de energia, são frequentemente providas de efeitos dinâmicos como: tolerâncias em fabricação, folgas, contato, atrito ou, também, resultantes de forças desequilibradas de componentes rotativos e momentos alternados. Bruel and Kajer (1989) diz que a vibração recebida pelo corpo pode ser classificada em dois grandes grupos, a Vibração Mão-Braço (VMB) e a Vibração de Corpo Inteiro (VCI). As duas formas podem representar riscos ao ser humano, dependendo da faixa de intensidade e do período de exposição a tais modulações vibratórias, que podem ser fontes de desconforto e também causa de problemas de saúde. Griffin (1990) indica que não se deve esperar que a vibração sofrida pelo corpo humano tenha apenas uma única consequência, ou que seja simples ou facilmente previsível.

Para a faixa de interesse da vibração de corpo inteiro (até 80Hz), as vibrações produzidas pelo motor e transmissão podem ser caracterizadas com alta frequência e baixa amplitude, repassadas para o corpo humano através do assento, piso e encosto. Já as providas das irregularidades do terreno, são do tipo de baixa frequência e grande amplitude, transmitidas da mesma forma. Estas últimas são especialmente nocivas ao combinar suas frequências com as ressonantes da região lombar da coluna vertebral e de órgãos internos, podendo, com um longo período de exposição, dar lugar a efeitos patológicos de gravidade variável.

Os ônibus oferecem um ambiente com movimentos complexos em todas as direções, gerados pela via, veículo, piso, assento e encosto. Passageiros avaliam o quão confortável é a sua viagem não apenas baseado no movimento oferecido pelo veículo, e sim pela interação de um conjunto de fatores como: ruído, temperatura, umidade, qualidade do ar, odores, aspectos gerais de limpeza e conforto promovido pelo assento.

A partir de uma viagem realizada por um ônibus leito modelo executivo da Empresa TTL – Transporte Turismo Ltda., e o objetivo de conhecer os níveis atuais de vibração neste tipo de transporte, quanto ao conforto e também avaliar se o mesmo encontra-se dentro de níveis estabelecidos seguros para saúde, este trabalho propõe a medição e análise destes valores. Se terá como guia a ISO 2631-1, referente a vibrações em geral sofridas pelo corpo humano. Resultados também serão comparados por aqueles indicados pela recente atualização da norma regulamentadora Anexo 8 da NR-15, 2014, seguindo-se os procedimentos constantes na NHO-09, 2013 e da NR-9, 2014. Desta forma este trabalho propõe avaliar e comparar valores de vibração de corpo inteiro, referentes à saúde, ao conforto, e valor do índice de transmissibilidade SEAT do assento, verificando sua posição dentre uma compilação de autores e normativas.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Motor, rodas, suspensão, estrutura do corpo do carro e acessórios interiores, todos contribuem para a experiência vibracional do passageiro. Quando a contribuição do assento para o conforto é a primeira preocupação, é vital fazer as medições na interface assento/corpo. Esse é o ponto de contato direto entre a estrutura vertical e a pessoa, e tem a função de sustentar e guiar a pessoa e de transmitir o peso do mesmo para o próprio corpo (ISO 2631-4, 2001). Para medir e interpretar os dados recolhidos há uma metodologia e alguns procedimentos previstos em normas. Para o caso de vibração de corpo inteiro (VCI) as normas analisadas foram a ISO 2631-1, 1997 e a NR-15, 2014, através do Anexo 8, que indicada como guia procedimental a NHO 09, 2013, se valendo das definições e conceitos discorridos pela redação da FUNDACENTRO.

As normas usam como parâmetro o valor rms da aceleração para quantificar e comparar valores de aceleração. O problema que decorre de tal abordagem é a existência de possíveis efeitos de frequência, que são negligenciados pelos modelos de aquisição de dados, pois diferentes espectros de frequência podem gerar valores de leitura similares em parâmetros distintos de aceleração, sendo que o efeito das vibrações nestas frequências em cada um dos três eixos de atuação será diferente. Em função desta distorção é preciso corrigir a leitura com a aplicação das curvas de compensação para medições de movimentos oscilantes, com atribuição de predominância do efeito de uns eixos sobre outros, de acordo com a sensibilidade do corpo humano para diferentes tipos e orientações do movimento, como explicado por Fedatto Neto (2016).

Essa correção gera um novo valor, a_w , a aceleração ponderada, em frequência, usando as curvas de pesos propostos pela norma de acordo com o tipo e direção de exposição. A ponderação da aceleração em m/s^2 deve ser feita ponderando-se a somando-se adequadamente a aceleração em bandas de oitava (ou terços de oitavas) pelos respectivos fatores de ponderação definidos em norma: $a_{wi} = \sqrt{\sum (W_i a_i)^2}$, $i = x, y$ ou z , onde W_i é o fator de ponderação (Harris e Piersol, 2000; ISO 2631-1/1997; Griffin, 1990).

A Figura 1 apresenta o traçado das curvas de ponderação por frequência necessárias para a determinação do VCI, os fatores W_k e W_d , são as únicas curvas aplicadas na verificação do nível de exposição relativo à saúde para a posição assento. Diante da curva de ponderações e das faixas de vibração definidas pela norma ISO 2631-1, 1997, tem-se o estabelecimento de fatores de ponderação que corrigem a leitura da aceleração rms no eixo longitudinal z , o fator W_k , e nos eixos transversais x e y , o fator W_d , para análise de VCI na superfície de contato do assento. Para conforto, recomenda-se o uso da curva W_b para qualquer eixo.

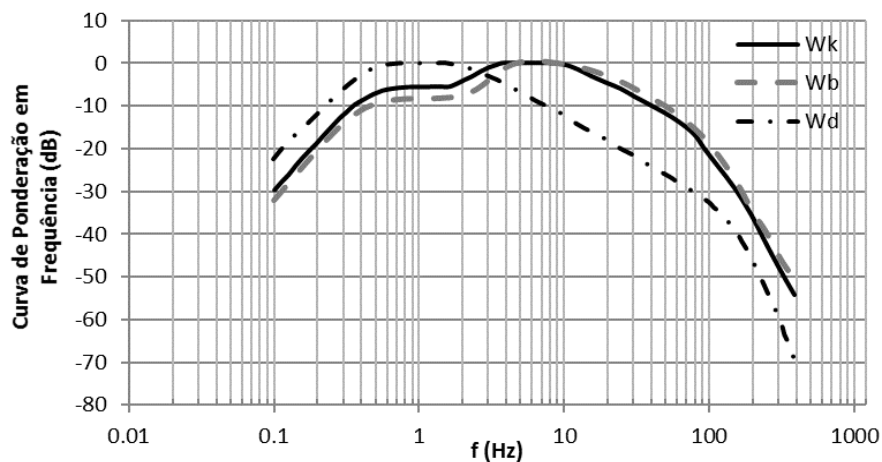


Figura 1. Curva de ponderação por frequência W_k , utilizado para correção da aceleração no eixo z , e W_d , utilizado para correção da aceleração nos eixos x e y , para vibração de corpo inteiro. Presente também a curva de ponderação W_b , utilizada para avaliação de conforto em qualquer eixo.

(Fonte: NHO 09, 2013, adaptada de ISO 2631-1/1997)

A norma ISO 2631-1 de 1997, apresenta valores para os fatores de multiplicação e as curvas de ponderação que devem ser aplicados nas medições de vibração, neste trabalho, os parâmetros que definem as correções que devem ser aplicadas são: vibração de corpo inteiro (para assento, encosto e piso) com fins de análise de saúde humana e para fins de avaliação do conforto. Para os três eixos vibracionais adequados aos parâmetros de medição, tem-se o indicado na Tab. 1. Assim, com a determinação dos dois fatores de correção estabelecidos é possível avaliar um valor de aceleração total

ponderada, a_v , em m/s^2 pela equação: $a_v = \sqrt{(k_x a_{wx})^2 + (k_y a_{wy})^2 + (k_z a_{wz})^2}$.

Tabela 1. Curvas de ponderação e fatores multiplicativos para as medições feitas.

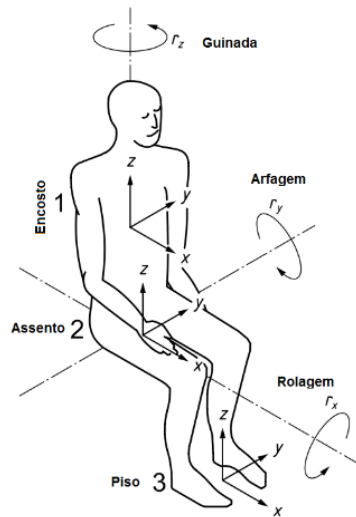
Para o eixo x	Para o eixo y	Para o eixo z
Superfície do assento W_d e k_x de 1,4	Superfície do assento W_d e k_y de 1,4	Superfície do assento W_k e k_z de 1,0
Apoio dos pés W_k e k_x de 1,0	Apoio dos pés W_k e k_y de 1,0	Apoio dos pés W_k e k_z de 1,0
Encosto W_c e k_x de 1,0	Encosto W_d e k_y de 1,0	Encosto W_d e k_z de 1,0

(Fonte: adaptado de ISO 2631-1, 1997)

A avaliação referente à insalubridade levar em conta o tempo de exposição diária, conforme determina o anexo 8 da NR-15, 2014, assim para uma exposição inferior à uma jornada de 8h há a necessidade de fazer uma extrapolação sobre a exposição que o passageiro receberia compatíveis com a jornada diária de 8 horas. Para esta verificação sobre um tempo de referência de jornada, usa-se a chamada aceleração resultante $A(8)$, onde T_0 apresenta-se como duração de jornada de 8 horas, T como o tempo efetivo de exposição e a_v a aceleração resultante (Griffin, 1990; Harris e Piersol, 2000; ISO 2631-1, 1997): $A(8) = a_v \sqrt{T/T_0}$.

Outro aspecto de extrema importância é o estabelecimento do valor de dose de vibração resultante, também limitado pela norma. A definição de VDV é mais vantajosa e seu uso é indicado para casos onde os valores da aceleração tem variações bruscas (ou picos) em relação à variação *rms* usual visto que ressalta a ocorrência de eventuais picos de aceleração, o que não é obtido com o valor *rms*. VDV representa o valor de dose de vibração representativa da exposição diária para cada um dos eixos x, y e z, para a determinação deste parâmetro aplica-se as equações: $VDV_i = [\int_0^T [a_{wi}(t)]^4 dt]^{\frac{1}{4}}$, $i = x, y$ ou z e para mais de um período de exposição, $(VDV_i)_{total} = [\sum_j (VDV_i)_j^4]^{\frac{1}{4}}$, com $j =$ número de períodos de exposição no dia.

A preocupação com a depuração dos dados experimentais referentes ao movimento oscilatório não se restringe ao equacionamento da aceleração equivalente. A norma ISO 2631, 1997 (Alteração de 2010), descreve a correta posição dos eixos de análise para a medição da vibração sobre o corpo. Conforme mostra a Figura 2, para a análise vibracional deve-se posicionar o equipamento de medição de forma que no eixo vertical tome-se a coordenada z, e nos eixos transversais os eixos x e y. Tais posicionamentos são provenientes de um sistema de coordenadas basicêntrico, adotando a origem como ponto de apoio do corpo, a partir do qual a vibração é transmitida ao corpo. Observar, também, na Tab. 2, posta abaixo, um resumo dos valores que serão avaliados.

**Figura 2. Eixos e orientações de medição para posição sentada e de pé.**

(Fonte: adaptado de ISO 2631-1, 1997, alteração de 2010).

Tabela 2. Limites de vibração quanto à saúde e ao conforto (Exposição de 8 h).

Saúde (NR-15, 2014)	
Valor Limite de Ação (<i>Vibration Action Exposure</i>): VAE	0,5 m/s ²
Limite de Exposição à Vibração (<i>Vibration Limit Exposure</i>): VLE	1,1 m/s ²
Saúde (ISO 2631-1, 1997)	
Valor Limite de Ação (<i>Vibration Action Exposure</i>): VAE	0,87 m/s ²
Limite de Exposição à Vibração (<i>Vibration Limit Exposure</i>): VLE	0,43 m/s ²

Conforto (ISO 2361-1, 1997)	
Confortável	< 0,315 m/s ²
Levemente confortável	0,63 m/s ²
Pouco desconfortável	1,0 m/s ²
Desconfortável	1,6 m/s ²
Muito desconfortável	2,5 m/s ²
Extremamente desconfortável	> 2,5 m/s ²

(Fonte: adaptado de ISO 2631-1, 1997 e NR-15, 2014)

Atualmente, o método mais popular utilizado para avaliar e quantificar o conforto do assento é o valor de SEAT (*Seat Effective Amplitude Transmissibility*). Este valor pode ser calculado diretamente dos valores medidos obtidos nos experimentos em campo ou em laboratórios onde *shakers* são usados para induzir vibrações. Ademais, os valores SEAT podem ser calculados a partir de funções de transmissibilidade de assento obtidas experimentalmente para uma variedade

de espectros de entrada de vibração como $SEAT\% = \sqrt{\int [G_s(f) \times W_i^2(f)] / \int [G_f(f) \times W_i^2(f)] df} \times 100$. Pode ser entendido como a proporção da vibração no assento e a vibração no chão, e explica a sensibilidade humana às vibrações. Tem-se que um valor de SEAT de 100% indica que não existe melhoramento ou degradação no desconforto produzido pelo assento; se o valor do SEAT é maior 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 produzida.

Para a determinação dos valores vibracionais efetivamente transmitidos ao corpo se utilizou acelerômetros, devidamente posicionados em um dispositivo compatível e uma placa de aquisição de dados. No caso, a ferramenta usada para a leitura e armazenamento dos dados coletados foi um software de aquisição de dados. Este aparelho tem a capacidade de interpretar as informações apresentadas por seis canais de entrada distintos, para os estímulos recebidos no terno axial x, y e z em cada um dos dois *seat pads* nele acoplados.

Para gerar os dados de entrada necessários ao analisador utiliza-se um acelerômetro transdutor de três eixos, que faz a conversão da energia mecânica gerada pela aceleração do corpo de testes em sinais elétricos proporcionais, de forma que a excitação mecânica, percebida pelos acelerômetros, seja enviada para o analisador. O dispositivo que contém o acelerômetro de 3 eixos é um *seat pad*, que é um disco com a borda externa feita de um material flexível, para se adequar ao formato do local de medição e com um núcleo rígido, onde estão encapsulados os acelerômetros, de forma padronizada, para manter-se fixo na interface do usuário e superfície permitindo uma leitura de vibração tri-axial sem deslocamentos relativos. Posicionou-se um *seat pad* na interface entre passageiro x assento, e outro na interface piso x pés, aonde há a transferência de vibração no veículo, com a orientação da plataforma devidamente correspondente com as exigências da norma ISO 2631-1, 1997; também foi observado o alinhamento do *seat pad* com o assento.

Para determinar o nível de exposição à vibração é importante considerar que existe uma frota de ônibus leito da Empresa TTL, conforme modelo como mostrado na Fig. 3. Optou-se por tomar as medições em apenas um veículo, para encosto e piso. As medições foram feitas durante a operação normal, com transporte de passageiros e nas velocidades condizentes com a realidade diária de condução, desde a sua saída em Montevideo/URU até a sua chegada na cidade de Chuí/BR, por um trajeto de mais de 200 km. Dividiu-se, então, sua medição em dois trechos: o primeiro com 1h de duração, com saída da cidade de Montevideo e chegada em Punta Del Este/URU e o segundo com 30 min de duração, com início das gravações de dados em Punta Del Este/URU e final na cidade do Chuí/BR.

O modelo de ônibus tomado como objeto de estudo é um Mercedes O-500 RSD 2436 6x2 e foi desenvolvido para aplicação rodoviária de média e longa distância. Um veículo robusto e de alta durabilidade, próprio para as mais severas condições de operação e aplicação, apresentando alta qualidade e baixo custo operacional.

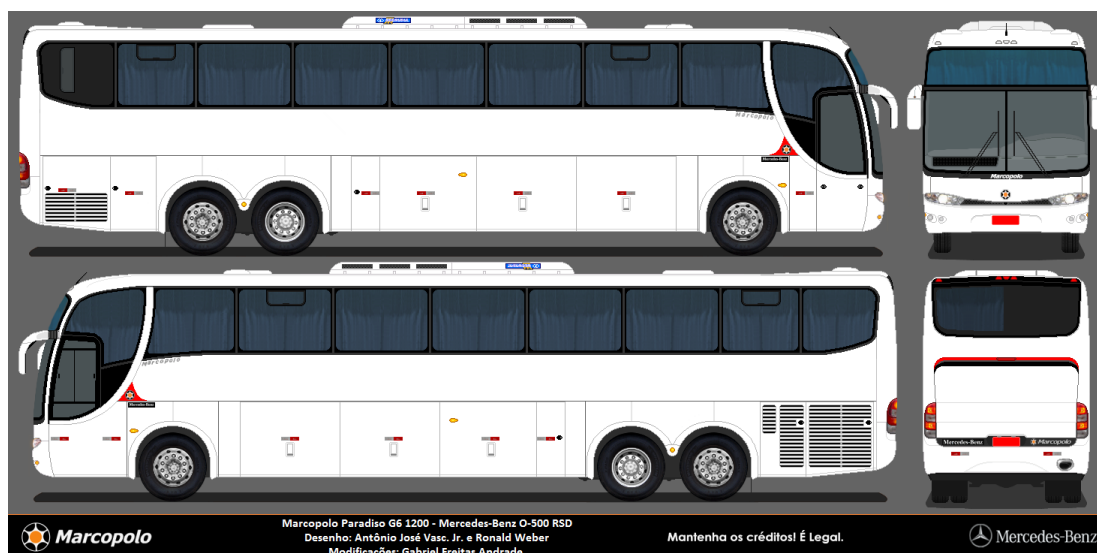


Figura 3. Modelo de ônibus leito, tipo executivo, utilizados pela Empresa TTL e objeto da atual pesquisa.
(Fonte: Mercedes-Benz)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resultados para assento

A primeira leitura de dados refere-se ao assento no qual o passageiro realiza o seu trajeto (assento 27, janela, lado direito). A escolha na posição do assento medido foi aleatória. Fazendo a análise dos dados, pode-se dizer que os valores indicados apresentam um nível de alerta em exposição, tanto em relação vibração quanto à saúde. Além disto, para o valor de aceleração *rms* total medido tem-se um nível de vibração que pode ser considerado “desconfortável”.

Tabela 3. Acelerações medidas e calculadas para assento em seu primeiro trecho com 1h de duração, as hipóteses de valores de exposição e classificação quanto ao conforto.

TEMPO DE MEDIÇÃO	1.00	hora			
EIXOS	X	Y	Z	SOMA	
RMS (ponderados)	0.2120	0.2441	0.2955	0.4380	m/s ²
VDV	2.3810	2.5600	3.329	3.7507	m/s ^{1.75}
A(8), Max RMS			0.1549		m/s ²
Max VDV			3.3290		m/s ^{1.75}

Hipóteses

i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO

Para atingir VAE	83.40 horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	55.15 horas	Não atingiu VLE

ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e o TEMPO DE MEDIÇÃO é representativo destas 8h

Para atingir VAE	10.42 horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	55.15 horas	Não atingiu VLE

Conforto: Levemente Confortável

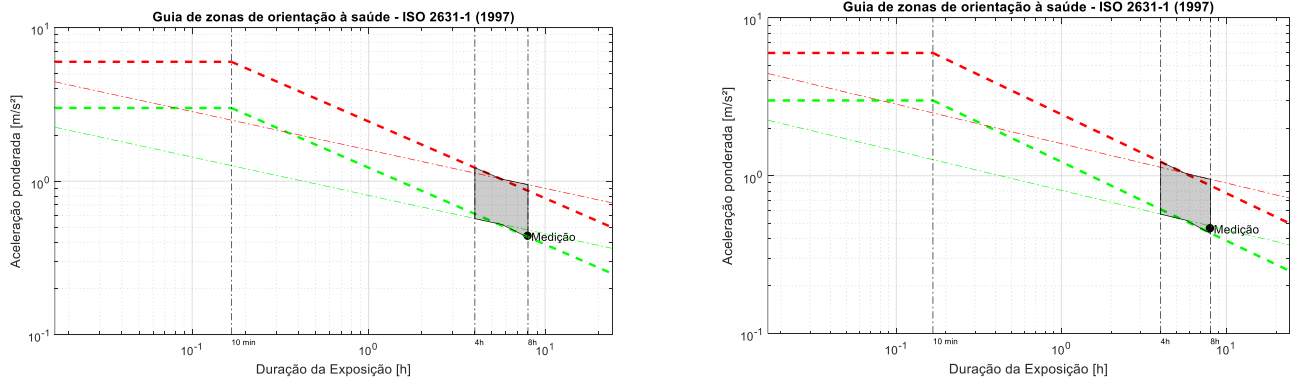


Figura 4. Guia de zonas de valores para aceleração ponderada em função da duração de exposição, de acordo com a ISO 2631-1/1997, para medição no assento durante o primeiro e segundo trecho avaliado.

Tabela 4. Acelerações medidas e calculadas para assento em seu segundo trecho com 0,5h de duração, as hipóteses de valores de exposição e classificação quanto ao conforto.

TEMPO DE MEDIÇÃO	0.50	hora			
EIXOS	X	Y	Z	SOMA	
RMS (ponderados)	0.1860	0.2055	0.2556	0.3770	m/s ²
VDV	1.7539	1.8380	2.747	2.9701	m/s ^{1.75}
A(8)			0.0943		m/s ²
Max VDV			2.7470		m/s ^{1.75}

Hipóteses

i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO

Para atingir VAE	112.56 horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	74.43 horas	Não atingiu VLE

ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e o TEMPO DE MEDIÇÃO é representativo destas 8h

Para atingir VAE	14.07 horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	74.43 horas	Não atingiu VLE

Conforto Levemente Confortável

3.2. Resultados para o piso

A próxima leitura de dados refere-se ao piso no qual o passageiro apoia seus pés durante o trajeto. Fazendo a análise dos dados, pode-se dizer que os valores indicados apresentam um nível de alerta em exposição, tanto em relação vibração quanto à saúde. Além disto, para o valor de aceleração *rms* total medido tem-se um nível de vibração que pode ser considerado, em média, “desconfortável”.

Tabela 5. Acelerações medidas e calculadas para piso em seu primeiro trecho com 1h de duração, as hipóteses de valores de exposição e classificação quanto ao conforto.

TEMPO DE MEDIÇÃO	0.50	hora			
EIXOS	X	Y	Z	SOMA	
RMS (ponderados)	0.1860	0.2055	0.2556	0.3770	m/s ²
VDV	1.7539	1.8380	2.747	2.9701	m/s ^{1.75}
A(8)			0.0943		m/s ²
Max VDV			2.7470		m/s ^{1.75}

Hipóteses		
i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO		
Para atingir VAE	112.56 horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	74.43 horas	Não atingiu VLE
ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e o TEMPO DE MEDIÇÃO é representativo destas 8h		
Para atingir VAE	14.07 horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	74.43 horas	Não atingiu VLE
Conforto	Levemente Confortável	

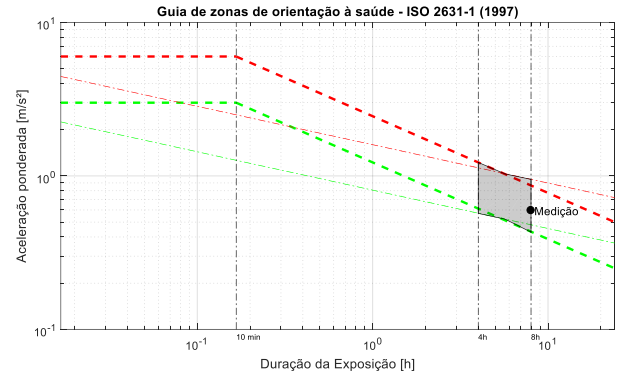
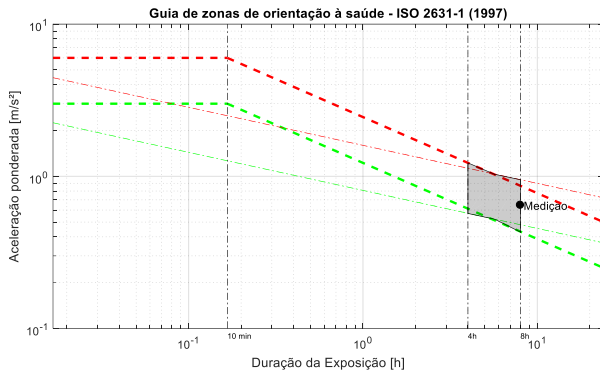


Figura 6. Guia de zonas de valores para aceleração ponderada em função da duração de exposição, de acordo com a ISO 2631-1/1997, para medição no piso durante o primeiro e segundo trecho avaliado.

Tabela 6. Acelerações medidas e calculadas para piso em seu segundo trecho com 0,5h de duração, as hipóteses de valores de exposição e classificação quanto ao conforto.

TEMPO DE MEDIÇÃO	0.50	horas			
EIXOS	X	Y	Z	SOMA	
RMS (ponderados)	0.2788	0.3623	0.4321	0.6290	m/s²
VDV	2.5564	2.9696	4.188	4.5488	m/s ^{1.75}
A(8)			0.1573		m/s²
Max VDV			4.1881		m/s ^{1.75}

Hipóteses		
i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO		
Para atingir VAE	40.43 horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	26.74 horas	Não atingiu VLE
ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e o TEMPO DE MEDIÇÃO é representativo destas 8h		
Para atingir VAE	5.05 horas	Atingiu VAE
Para atingir VLE	26.74 horas	Não atingiu VLE
Conforto	Levemente Confortável	

Alguns outros autores da literatura também definem seus limites de valores de aceleração que julgam adequados para conforto, e realizando um comparativo com esses limites, indicados na Tab. 7, chega-se também à conclusão que para as medidas feitas todas passam, em média, classificadas como “levemente desconfortável ou médio desconforto”.

Tabela 7. Valores limite para avaliação do nível de conforto especificado por outros autores.

Fothergill (1972)	m/s ²	British Standard 6841 (1987)	m/s ²
Muito desagradável	2,5	Extremamente desconfortável	2,50 - 3,50
Desagradável	1,7	Muito desconfortável	1,25 - 2,50
Desconforto mediano	1,1	Desconfortável	0,80 - 1,60
Não desagradável	0,7	Levemente desconfortável	0,50 - 1,00
Perceptível	0,3	Um pouco desconfortável	0,315 - 0,63
Fothergill; Griffin (1977)	m/s ²	Não desconfortável	0,25 - 0,315
Muito desconfortável	2,7	Oborne; Clarke (1974)	m/s ²
Desconfortável	1,8	Muito desconfortável >	2,3
Med. desconfortável	1,1	Desconfortável	2,3
Perceptível, mas não desconfortável	0,4	Levemente desconfortável	1,2
Jones; Saunders (1974)	m/s ²	Levemente confortável	0,5
Muito desagradável	3,7	Confortável	0,23
Muito desconfortável	2,2	Muito confortável <	0,23
Desconfortável	1,2		
Medianamente desconfortável	0,7		
Não desconfortável	0,33		

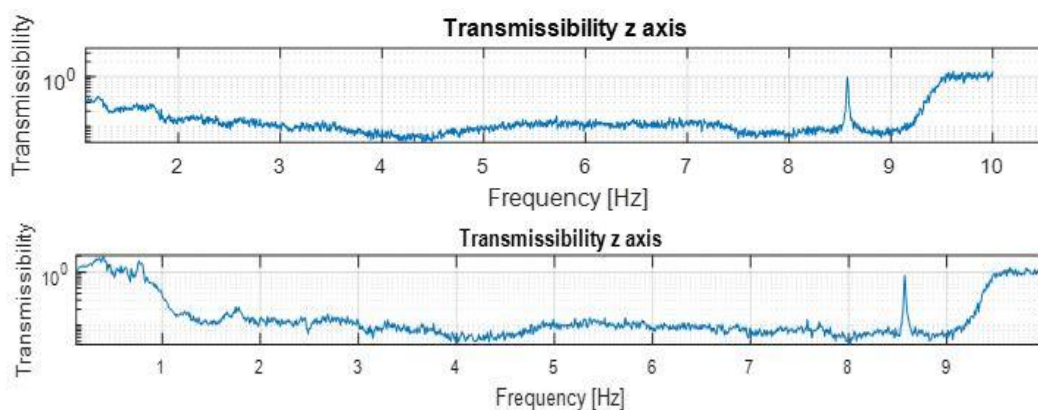
(Fonte: adaptado de Griffin, 1990; Harris *et al.*, 2002; ISO 2631-1, 1997; Directive 2002/44/EC, 2002)

A análise de valores do nível SEAT para os trechos estão descritos na Tab. 8 abaixo.

Tabela 8. Cálculo do valor de SEAT para o primeiro trecho de 1h de duração e para o segundo trecho de medição de 0,5h.

SEAT %	Trecho 1	Trecho 2
x	126.5	129.8
y	118	130.9
z	94.3	92.1

Os resultados apresentados na Tab. 8, indicam que, independente do trecho analisado, no eixo z, o assento auxilia atenuando, para o passageiro, o valor da vibração que está sendo gerado no piso. Abaixo, na Fig. 8, se encontram os gráficos gerados, nos dois trechos, para o eixo z, onde pode-se verificar que realmente há uma diminuição no nível de vibração transmitido (transmissibilidade menores que 1,0).

**Figura 8. Gráficos de transmissibilidade gerados no eixo z para o primeiro e segundo trecho, respectivamente, de cima para baixo.**

4. CONCLUSÃO

De acordo com os dados obtidos nas medições de vibração de corpo inteiro para fins de avaliação de conforto, o ônibus leito está com níveis de vibração desconfortável ou medianamente desconfortável. Numa situação de aproximadamente 8h de exposição, situação muitas vezes atingida por um passageiro em uma longa viagem internacional, este estaria próximo do limite de ação, com o indicativo de que mudanças no assento não seriam necessárias por hora.

Segundo a NR-15 (2014), os valores de vibração averiguados em termos do valor de dose de vibração (VDV) se mostraram aceitáveis diante das faixas estabelecidas como perigosas ou insalubres pelas normas relativas à saúde. Com relação à vibração diária de exposição (A8) os valores verificados foram baixos, tendo todos ficados entre a faixa de ação ($0,5 \text{ m/s}^2$) e muito longe ao limite de exposição ($1,1 \text{ m/s}^2$). As leituras das vibrações medidas, no que tangem o conforto, encontram-se na categoria de classificação de “desconfortáveis” de acordo com diversos outros autores e normas internacionais.

Sobre o valor do índice SEAT, pode-se concluir que, mesmo indicando que no eixo z há um decréscimo no valor do nível de vibração que será transferida ao passageiro pelo assento advinda do piso, e cruzando com os outros parâmetros analisados no artigo, o ônibus leito em estudo está com níveis desconfortáveis de uso, devendo-se cuidar o número de horas gastas dentro deste veículo.

Por fim, o trabalho realizado pôde aferir que atualmente os passageiros de ônibus leito modelo executivo da Empresa TTL – Transporte Turismo Ltda. estão numa situação de desconforto em suas viagens no que se refere à vibração, mas não correndo nenhum risco para sua saúde durante a exposição usual deste transporte, no período verificado.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu apoio financeiro parcial da CAPES - Brasil.

6. REFERÊNCIAS

- BRUEL & KJAER, “Primer: Human Vibration. Booklet”. Ed. Bruel and Kajer, Denmark, 31p.1989.
- 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.
- EMPRESA TTL – Transporte Turismo Ltda., Viagem, Linhas TTL. <https://www.ttl.com.br/site/default.asp?TroncoID=945181&SecaoID=546606&SubsecaoID=0>. Acessado em: 23/09/2017.
- FEDATTO NETO, M. “Avaliação dos níveis de vibração de corpo inteiro (VCI) em usuários de trens urbanos em Porto Alegre e região metropolitana”. 2016. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Dep. de Eng. Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- GRIFFIN, M. J. “Handbook of Human Vibration”. Academic Press, London, 1990. ISBN: 0-12-303040-4.
- HARRIS, C. M.; PIERSOL, A. G. “Shock and vibration Handbook”. 5th Ed. McGraw-Hill, 1456p. 2002. ISBN: 0-07-137081-1.
- ISO 2631-1:1997. “Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements”. International Organization for Standardization, 2007.
- J.L. Van Niekerk, W.J. Pielemeier, J.A. Greenberg, “The use of seat effective amplitude transmissibility (SEAT) values to predict dynamic seat comfort”, Journal of Sound and Vibration, 260 (2003), pp. 867–888.
- MERCEDES BENS, Ônibus Rodoviário, Dados Técnicos. <https://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/onibus/onibus-rodoviario/dados-tecnicos/dados-tecnicos-O500-rsd-2436.pdf>. Acessado em: 17/08/2017.
- NAWAYSEH, N. “Effect of the seating condition on the transmission of vibration through the seat pan and backrest”. International Journal of Industrial Ergonomics, V.45, 2015, pp.82-90.
- NHO-09. “Normas de Higiene Ocupacional. Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibração de Corpo Inteiro”. Fundacentro. 64p. 2013. <http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/publicacao/detalhe/2013/4/nho-09-procedimento-tecnico-avaliacao-da-exposicao-ocupacional-a-vibracao-de-corpo-inteiro>. Acessado 24/07/2017.
- NR-09. “Norma Regulamentadora No. 09. Programa de prevenções de riscos ambientais - Anexo Nº1 Vibrações”. 2014. <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr9.htm>. Acessado 18/07/2017.
- NR-15. “Norma Regulamentadora No.15. Atividades e operações insalubres - Anexo Nº8 Vibrações”. 2014. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.html>. Acessado 24/07/2017.
- RAO, S. S. “Mechanical Vibrations”. 5th Ed. Prentice Hall. 1084p. 2011.
- REGAZZI, R. D.; XIMENES, G. M. “A importância da avaliação da vibração no corpo humano.” INMETRO, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF TRANSMISSIBILITY, COMFORT AND HEALTH AS TO THE WHOLE BODY VIBRATION ACTING ON BUS PASSENGERS IN INTERNACIONAL PATH

Mário Fedatto Neto, mariofedatto@hotmail.com¹

Herbert Martins Gomes, herbert@mecanica.ufrgs.br¹

¹Federal University of Rio Grande do Sul - UFRGS, 425 Sarmiento Leite St., Porto Alegre/RS, Brazil.

Abstract. *Bus trips through South America are the cheapest way to get to know the continent. However, an aspect that is often delegated to the background, concerns the quality and comfort of transport. The vibration and noise produced by this means of transport affect the quality and comfort of its passengers. In this work, the whole body vibration levels are evaluated in the bus users, in an international route, in usual situations. The measured rms vibration and acceleration dose values, as compared to standards, were found to be acceptable. These values were evaluated in the position in the seat and floor, in a single point in the vehicle, and values between the action level and the exposure limit (0.5 to 1.1 m/s²) were found, and with transmissibility, in 92% in the z axis direction, indicating that there is an attenuation in the vibration transmitted by the seat. In general, measured vibration levels were considered uncomfortable following criteria cited in standards.*

Keywords: WBV, Bus, Comfort, Health, SEAT.