

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO EM MOTORISTAS DE ÔNIBUS METROPOLITANO: ESTUDO APLICADO AO SISTEMA BRT DE BRASÍLIA-DF

Gabriela Cristina Cândido da Silva, gabrielacandido.s@gmail.com¹

Maria Alzira de Araújo Nunes, manunes@unb.br²

Hugo Ferreira Moore, hugomoore.df@gmail.com²

¹Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama, Eng. de Energia¹/Eng. Automotiva², Área Especial de Indústria Projeção A-UnB, Setor Leste, 72.444-240, Gama-DF, Brasil.

Resumo: Motoristas de veículos automotores estão sujeitados a vibração de corpo inteiro (VCI) ocasionada, principalmente, pela rugosidade da superfície das vias pelas quais trafegam e vibração do motor que é transmitida para o motorista pelo sistema de suspensão e assento do veículo. Estas vibrações são reconhecidas pela comunidade científica como a causa de vários problemas de saúde, como náuseas, insônia e dor nas costas. Em motoristas de ônibus, que estão submetidos à vibração durante toda jornada de trabalho há relato de dores na coluna que podem estar associadas à VCI. Neste contexto, este artigo apresenta um estudo da VCI em motoristas do sistema de ônibus BRT (Bus Rapid Transit) em Brasília-DF. As medições foram realizadas de acordo com as recomendações da norma ISO 2631-1 (1997), utilizando um medidor do tipo seatpad triaxial. As medições foram realizadas in situ na rota comercial em dois modelos de ônibus: padrão e articulado. Os resultados foram comparados com critérios estabelecidos pelas normas brasileiras, NR15 e NHO 09 (2013), e ainda com normas internacionais vigentes, Diretiva Europeia 44/2002/CE, BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997), apenas para efeito de comparação. Os resultados mostram que os ônibus do tipo padrão apresentaram níveis de vibração maiores que o articulado em aproximadamente 7,7%. Porém, em ambos os modelos analisados, os motoristas não estão expostos a níveis acima do limite de exposição. Alguns fatores podem contribuir para que o nível de aceleração resultante esteja dentro dos limites aceitáveis, tal como o sistema BRT contar com uma frota nova, o motor dos veículos é localizado na parte traseira, distante do motorista, e ainda a maior parte do trajeto ocorrer em uma pista exclusiva, com pavimentação nova.

Palavras-chave: VCI, motorista, ônibus, ISO 2631-1, BRT

1. INTRODUÇÃO

As vibrações transmitidas ao corpo humano podem ser classificadas em dois tipos: Vibrações de Extremidades (também conhecidas como segmentais, localizadas ou de mãos e braços) que se situam na faixa de 6,3 a 1250 Hz. É normatizada pela ISO 5349, ocorrendo nos trabalhos com ferramentas manuais, por exemplo, nos trabalhos de escavação, construção de galerias, pedreiras e madeiras. E Vibrações de Corpo Inteiro (VCI) que são de alta amplitude e baixa frequência, situando-se na faixa de 1 a 80 Hz, mas especialmente 1 a 20 Hz. As vibrações de corpo inteiro são normatizadas pela ISO 2631, e tem origem no movimento oscilatório das superfícies que suportam o corpo humano, podendo ser transmitidas pelos pés, nádegas e costas em indivíduos que permanecem na posição sentada, posição em pé ou deitado (Dul & Weerdmeester, 2004).

VCI são comuns, principalmente, quando o trabalho requer a operação de maquinários como ônibus, caminhão, trator, e demais veículos pesados operados por humanos (Costa *et al.*, 2014). Nestes veículos a vibração é produzida principalmente, pela rugosidade da superfície das vias pelas quais trafegam e vibração do motor que é transmitida para o motorista pelo sistema de suspensão e assento do veículo. A sensibilidade à vibração envolve diversos fatores ergonômicos como a postura adotada, tensão muscular, além de fatores físicos como frequência, direção e tempo de exposição, entre outros fatores ambientais (Mansfield *et al.*, 2006).

Pessoas expostas à vibração de corpo inteiro na podem exibir efeitos em diversos sistemas do corpo, os quais podem causar enjoos, náuseas, perda de peso, redução da acuidade visual, insônia, desordens no labirinto e cólicas no cólon (Griffin, 1990). Porém, nos estudos que envolvem a avaliação do ambiente ocupacional dos trabalhadores, efeitos

adversos na coluna vertebral, como lombalgia, degeneração precoce da região lombar e hérnia de disco têm sido os tópicos mais recorrentes na literatura sobre o tema (Silva e Mendes, 2005).

Kelsey e Hardy (1975) concluíram 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). 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. Portanto, os efeitos biológicos da vibração são cada vez mais evidentes revelando a importância de medição e controle dos níveis de VCI aos quais os trabalhadores estão expostos.

A vibração é também considerada pela Organização Mundial da Saúde e pelo Ministério da Saúde do Brasil como um agente de risco ocupacional. De acordo com Norma Regulamentadora 15 – Operações Insalubres (NR-15), do Ministério do Trabalho brasileiro, as atividades que expõem os trabalhadores à vibração de corpo inteiro, sem o devido uso de equipamento de proteção, podem ser caracterizadas como insalubres, que se constatada, será de grau médio. Reforçando assim a necessidade de medição da exposição às vibrações nos trabalhadores.

Os limites e recomendações preventivas a respeito da exposição às vibrações estão previstos em normas nacionais e internacionais que servem de referência para a avaliação do nível de exposição. As principais e mais referenciadas são as normas ISO 2631-1: 1997 para vibrações de corpo inteiro; e norma britânica BS 6841 (1987), a Diretiva 2002/44 da Comunidade Europeia e a Norma de Higiene Ocupacional 09 - Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro, da Fundacentro – Brasil.

Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo da VCI em motoristas do sistema de ônibus BRT (Bus Rapid Transit) em Brasília-DF. O BRT é um sistema de transporte público baseado no uso de ônibus que operam por uma faixa de rodagem exclusiva, inclusive com pavimentação adequada para tráfego de veículos pesados. Foi implantado no Distrito Federal em julho de 2014, possuindo uma frota de veículos nova. Em virtude das dificuldades encontradas no transporte coletivo e reclamações por parte dos motoristas de ônibus convencionais do DF, obteve interesse em investigar o VCI neste novo sistema.

As medições foram realizadas *in situ* na rota comercial em dois modelos de ônibus, padrão e articulado, de acordo com as recomendações da norma ISO 2631-1 (1997), utilizando um medidor do tipo *seatpad* triaxial. Os resultados foram avaliados segundo os critérios estabelecidos pelas normas brasileiras, NR15 e NHO 09 (2013), e ainda com normas internacionais vigentes, Diretiva Europeia 44/2002/CE, BS 6841 (1987), apenas para efeito de comparação.

2. MEDIÇÃO DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO À VCI

Este estudo avaliou a exposição à vibração de corpo inteiro em motoristas de ônibus do sistema BRT em Brasília. As medições foram realizadas de acordo com o método apresentada pela norma ISO 2631-1 (1997). Os critérios para medição e os procedimentos experimentais são apresentados a seguir.

2.1. Critérios para medição de VCI

A ISO 2631-1 (1997) apresenta um método e estabelece critérios para a avaliação de exposição à vibração de corpo inteiro em relação à saúde e conforto humano. A norma define diferentes sistemas de coordenadas ortogonais, originados em um ponto em que a vibração está entrando no corpo, dentre as possibilidades ilustradas pela Fig. 1.

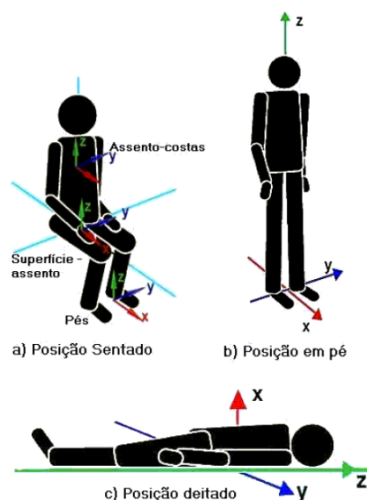


Figura 1. Direção das posições para medição da vibração no corpo humano. Fonte: ISO 2631-1 (1997)

A medição da intensidade da exposição humana à vibração está relacionada com a extensão da oscilação e pode ser quantificada mediante a verificação do deslocamento induzido, velocidade imprimida ou aceleração transmitida (ISO 2631-1; 1997). Para vibração de corpo inteiro, a ISO 2631-1 a medição é analisada com base nos dados de aceleração. A magnitude da vibração é obtida através da aceleração ponderada RMS (*root-mean-square*), expressa em m/s^2 . Esta aceleração é calculada por:

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

sendo a_w a aceleração compensada como uma função do tempo, em m/s^2 e T é a duração da medição em segundos.

Quando há mais de uma direção para medição da vibração no corpo humano, o valor total da aceleração ponderada da vibração nas coordenadas ortogonais é calculado pela fórmula:

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

onde a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} são as acelerações RMS com respeito aos eixos ortogonais x, y, z e k_x , k_y e k_z são fatores de multiplicação, $x = 1,4$, $y = 1,4$ e $z = 1$.

A maneira pela qual as vibrações afetam a saúde, conforto, percepção e enjoo é dependente da frequência. Há diferentes frequências para diferentes eixos. As ponderações de frequência utilizadas pela ISO 2631-1 (1997) são: W_k para o eixo z e W_d para os eixos x e y.

A norma define ainda o Fator Crista (FC) como a razão entre o máximo valor de pico de aceleração e o valor RMS, medido na mesma direção, em um período de 1 minuto:

$$FC = \frac{pico}{RMS} \quad (3)$$

onde *pico* é o máximo valor instantâneo de pico de aceleração e RMS é o valor da aceleração durante o período de tempo, ambos em m/s^2 .

Caso o fator crista esteja acima de nove, a medição é caracterizada com uma grande ocorrência de choques instantâneos. Sendo assim, a ISO 2631-1 (1997) recomenda a determinação de um parâmetro complementar, denominado Valor Dose de Vibração (VDV). Este valor, medido em $m.s^{-1,75}$, é uma medida cumulativa, utilizada para refletir a exposição total de um trabalhador exposto à vibração. Com isso, calcula-se baseado em um período de tempo (normalmente 8 horas) o nível vibracional máximo para determinada exposição, a partir da fórmula:

$$VDV = \left[\int_0^T a_w^4(t) dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

O sistema de medição deve ser composto basicamente de medidores integrados e transdutores. O transdutor universalmente usado na captação de uma vibração é o acelerômetro piezoelétrico, que pode ser uni ou tri-axial. Para avaliação da exposição ocupacional a vibrações transmitidas por assentos, devem ser utilizados acelerômetros de assento construídos especificamente para esta finalidade, conforme ilustrado na Fig. 2. O referido acelerômetro é preso a uma base circular semirrígida, impedindo seu movimento com a estrutura, além de não alterar as propriedades dinâmicas do corpo e do banco.

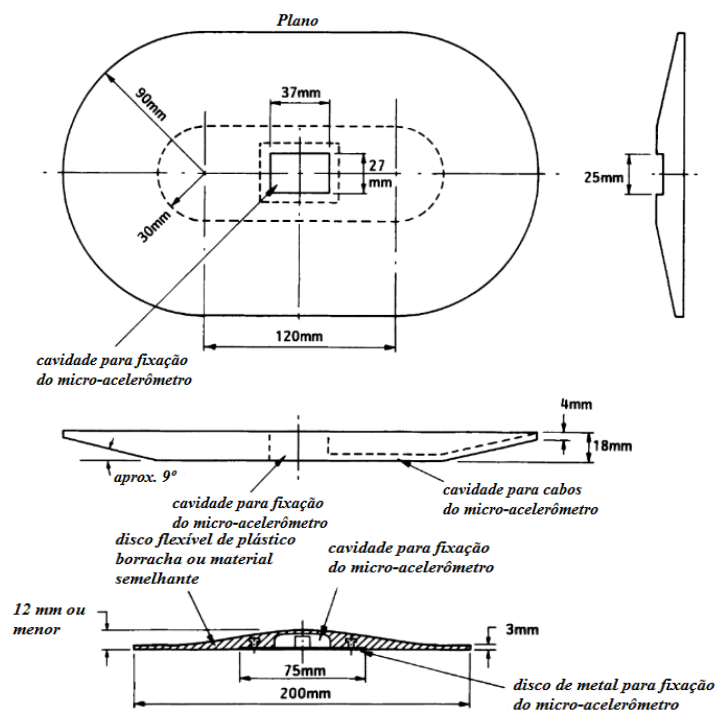


Figura 2. Dispositivo para medição da aceleração na interface assento e corpo humano. Fonte: GRIFFIN (1990)

O conjunto de medições deve ser representativo das condições reais da exposição ocupacional do grupo de trabalhadores objeto do estudo. Desta forma, a avaliação deve cobrir todas as condições operacionais habituais e rotineiras que envolvem o trabalhador no exercício de suas funções. Os procedimentos de avaliação devem interferir o mínimo possível nas condições operacionais características da condição de trabalho em estudo.

2.2. O Sistema BRT em Brasília-DF

O *Bus Rapid Transit* (BRT), ou Transporte Rápido por Ônibus, é um sistema de transporte público baseado no uso de ônibus que operam por uma faixa de rodagem exclusiva, com objetivo de proporcionar mobilidade urbana rápida e eficiente por meio de infraestrutura segregada (NTU, 2011). Em Brasília, inaugurado em junho de 2014, o sistema BRT – Expresso DF, possui 43,7 km de extensão, sendo 35 km em faixas exclusivas. O corredor exclusivo, que pode ser observado na Fig. 3(a), possui pavimento misto (asfalto e concreto), de modo a suportar um tráfego mais intenso, visto que o pavimento de concreto apresenta comportamento mais previsível, não se deforma com o calor, não se solta e distribui as cargas dos veículos em áreas maiores.

O sistema possui ramais na região administrativa do Gama (8,7km de extensão) e em Santa Maria (5,3km de extensão). O trecho se torna único a partir de um ponto de encontro na BR-040, a 27,8 km da Rodoviária do Plano Piloto, indicado pelo círculo pontilhado na Fig. 3(b), conectando assim as três regiões administrativas. Ao fim da faixa exclusiva, os ônibus operam em pista de asfalto, em tráfego compartilhado com demais veículos urbanos (trecho em azul na Fig. 3(b)).



(a)



(b)

Figura 3. Sistema BRT Brasília: (a) faixa exclusiva (b) mapa do sistema

O sistema é operado por ônibus com chassi do tipo Padrão, mostrado na Fig. 4(a) e chassi do tipo Articulado, mostrado na Fig. 4(b). As medições foram realizadas em março de 2015, quando a frota de ônibus possuía um ano, em média, e recebia manutenção preventiva periódica programada. Os veículos trafegam na via com velocidade máxima de 60 km/h. A Tabela 1 apresenta as características técnicas de cada um dos tipos de ônibus.



Figura 4. Ônibus que operam no Sistema BRT Brasília: (a) Chassi Padrão e (b) Chassi Articulado

Tabela 1. Características técnicas dos ônibus do sistema Eixo Sul

Tipo de Chassi	Padrão	Articulado
Fabricante da Carroceria	Marcopolo [®]	Marcarello [®]
Fabricante do Chassi	Mercedes-Benz [®]	Mercedes-Benz [®]
Câmbio	Automático	Automático
Combustível	Diesel	Diesel
Localização do motor	Traseira	Traseira
Lotação sentada	37	40
Lotação em pé	44	93
Circulação	Semiexpresso – Eixinho	Expresso - Eixo
Tempo médio de viagem	40 minutos	30 minutos

Quando não estão na faixa exclusiva, o ônibus Padrão segue pela pista chamada de Eixinho, realizando paradas nos pontos de ônibus para embarque ou desembarque de passageiros. Enquanto que o ônibus Articulado segue pela pista denominada Eixo, sem realizar paradas, portanto, o tempo de viagem é reduzido. Ressalta-se que no Eixinho também ocorre o tráfego de demais ônibus metropolitanos da cidade, enquanto que no Eixo não é permitido o tráfego de outros veículos pesados. Observa-se, portanto que a qualidade do asfalto do Eixo é melhor que do Eixinho.

2.3. Procedimentos Experimentais

As medições do nível de exposição de VCI dos motoristas do sistema BRT – Expresso DF foram realizadas utilizando um conjunto de equipamentos *Larson Davis*, constituído por um medidor de vibrações modelo HVM100 e acelerômetro piezoelétrico tri-axial de assento (*seatpad*) modelo SEN027-CBL, mostrados na Fig. 5.

Seguindo o método definido pela ISO-2631 (1997), o equipamento foi ajustado para ponderação em frequência segundo as curvas de ponderação W_k para o eixo z e W_d para os eixos x e y. Bem como fator de multiplicação de 1,4 para os eixos x e y, e de 1,0 para o eixo z.

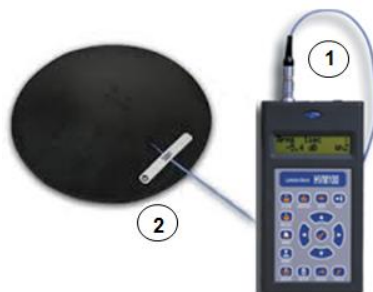


Figura 5. Equipamentos de medição de VCI: 1) Medidor de vibrações HVM100; 2) Acelerômetro tri-axial de assento.

O acelerômetro foi colocado sobre o assento do motorista e o medidor foi colocado em uma superfície plana onde pode ser facilmente manuseado. A Figura 6 ilustra a montagem dos equipamentos. As medições foram realizadas com o mínimo de interferência nas condições de trabalho habituais dos motoristas, por exemplo, a capa de proteção do banco utilizada pelo motorista foi mantida.

A empresa de transporte do sistema BRT concedeu sua estrutura de pessoal e veículos para realização deste trabalho. Os motoristas receberam previamente esclarecimento sobre a metodologia experimental e assim aceitaram participar deste trabalho, assinando o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Cabe ressaltar que este estudo foi aprovado pelo comitê de Ética e Pesquisa da Universidade de Brasília (CEP-FS/UnB) com número de protocolo 547.814

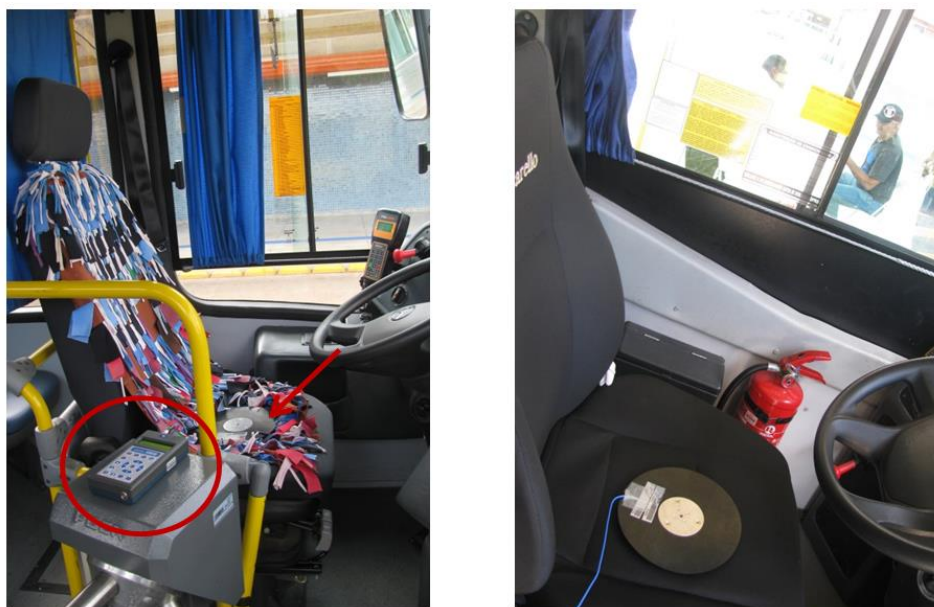


Figura 6. Equipamentos montados para medição de VCI em motoristas de ônibus do Sistema BRT - DF

Os ensaios foram realizados na rota comercial, percorrida pelos ônibus do sistema BRT, no trecho que liga o Terminal do Gama a Rodoviária do Plano Piloto, permitindo reproduzir as condições reais de trabalho. Foram disponibilizados 04 ônibus para medições: 02 ônibus do tipo Padrão e 02 ônibus do tipo Articulado. Para cada ônibus foram realizadas duas medições: Do trajeto de ida (saindo do Terminal Gama para Rodoviária Plano Piloto) e do trajeto de volta (saindo da Rodoviária Plano Piloto para Terminal Gama), totalizando 08 medições. Cada trecho do percurso (ida ou volta), ilustrado na Fig. 7, apresentava uma distância na ordem de 35 km, a linha pontilhada em vermelho destaca o ponto em que o tráfego é compartilhado, ou seja, não há faixa exclusiva para os ônibus. A duração da medição de vibração de cada trecho foi de aproximadamente 35 minutos.

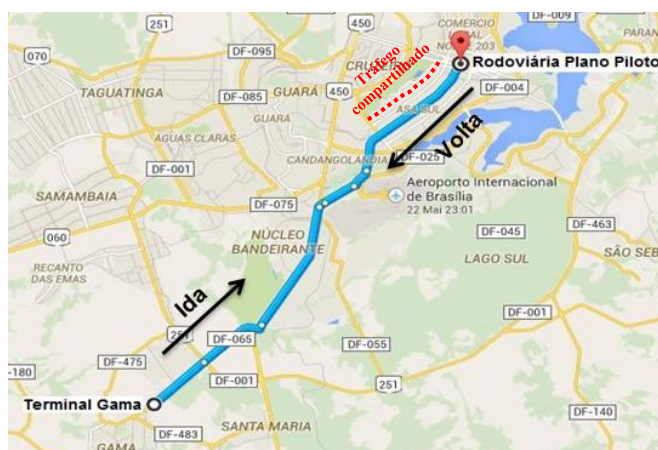


Figura 7. Trajeto do BRT em que foram realizadas medições de vibrações.

3. RESULTADOS

Ao total participaram das medições quatro motoristas do sexo masculino com idades variando entre 33 e 55 anos. Os trabalhadores apresentavam estatura média de 1,78 m e 77 kg. Em média, atuam como motorista de ônibus há 16 anos, e há 01 ano operam os ônibus do sistema BRT. Todos os participantes afirmaram que receberam orientação e treinamento sobre postura correta para realização do trabalho e ainda que ajustam o banco antes de dirigir o ônibus e não sentiam nenhum tipo de desconforto durante o expediente.

Como resultados das medições foram obtidos: Valor de Aceleração RMS em cada eixo (a_w); Valor total ponderado (a_v); Fator Crista; Valor de Dose de Vibração (VDV) e a Aceleração resultante de exposição normalizada ($a(8)$): corresponde à aceleração resultante de exposição convertida para uma jornada diária padrão de 8 horas. Estes valores são apresentados na Tab. 2, para os ônibus do tipo padrão e articulado, nos trajetos de ida e de volta.

Tabela 2 - Resultados obtidos com a medição do nível de exposição à VCI em motoristas de ônibus do sistema BRT - DF

Parâmetro	Eixo	01 - Padrão		02 – Padrão		03 – Articulado		04 – Articulado	
		Ida	Volta	Ida	Volta	Ida	Volta	Ida	Volta
a_{eq} (m/s^2)	x	0,175	0,183	0,184	0,190	0,162	0,176	0,171	0,168
	y	0,116	0,124	0,173	0,191	0,123	0,123	0,154	0,148
	z	0,413	0,546	0,529	0,583	0,500	0,484	0,478	0,477
a_v (m/s^2)	Total	0,506	0,626	0,635	0,697	0,574	0,569	0,575	0,570
Fator Crista (m/s^2)	x	17,20	18,50	21,90	23,20	17,70	17,30	20,90	19,10
	y	21,00	21,30	20,70	20,40	20,10	20,40	19,40	20,20
	z	18,40	19,30	19,60	19,40	17,80	16,50	17,70	18,60
	Total	17,00	18,20	18,40	17,90	16,60	15,20	16,40	17,20
VDV ($m.s^{-1,75}$)	x	1,950	2,040	2,280	2,150	1,670	1,710	1,930	1,850
	y	1,510	1,670	1,970	1,970	1,380	1,330	1,630	1,570
	z	4,370	5,500	5,690	5,590	4,850	4,490	4,610	4,080
	Total	4,830	5,860	6,380	6,222	5,190	4,880	5,210	4,140
$a(8)$ (m/s^2)		0,119	0,149	0,153	0,151	0,133	0,117	0,123	0,123

De acordo com a literatura (Gerges, 1992; Balibinot, 2001; Griffin, 2002), o eixo z é a direção na qual a vibração de corpo inteiro se transmite com mais intensidade. Os resultados deste presente trabalho reforçam este aspecto, visto que em todos os trechos para os dois tipos de ônibus avaliados, o valor da aceleração RMS foi maior na direção do eixo z. À título de ilustração, a Fig. 8 mostra o gráfico das acelerações RMS por tempo, medidas no trecho de ida em um ônibus do tipo Padrão, no qual fica evidente que a aceleração do eixo z (em verde) é maior que nos demais eixos, ao longo de todo o trajeto.

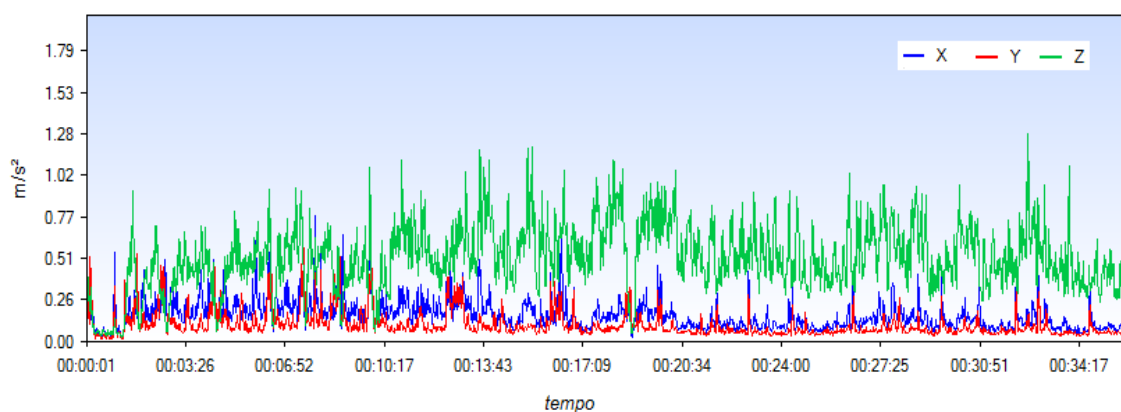


Figura 8. Gráfico da aceleração RMS nos três eixos por tempo

Ao comparar o valor total ponderado da aceleração RMS (a_v) nota-se que a média dos ônibus Padrão ($0,616 m/s^2$) é maior que a média dos ônibus Articulado ($0,572 m/s^2$). Não foram encontradas diferenças significativas entre os níveis de vibração entre os trajetos de ida e volta.

De acordo com Norma Regulamentadora 15 – Operações Insalubres, do Ministério do Trabalho brasileiro, as atividades que expõem os trabalhadores à vibração de corpo inteiro, sem o devido uso de equipamento de proteção,

podem ser caracterizadas como insalubres. O anexo 08 da NR-15 faz referência à necessidade de medição da exposição às vibrações nos trabalhadores e indica a norma internacional ISO 2631-1 como critério de medição de vibração transmitida para o corpo inteiro. Esta norma apresenta uma tabela que relaciona o valor total ponderado da aceleração com a reação dos indivíduos em relação ao conforto quando expostos a vibração, conforme é mostrado na Tab. 3.

Sendo assim, conforme a ISO 2631-1 (1997), em relação ao conforto (Tab. 3), os resultados obtidos para todos os ônibus, em todos os trechos avaliados, se enquadram em “Um pouco desconfortável”.

Tabela 3. Aceleração RMS em relação ao conforto. Fonte: ISO 2631-1 (1997)

<i>Aceleração RMS</i>	<i>Classificação</i>
< 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

Conforme pode ser observado na Tabela 3, todos os trechos apresentaram valores de Fator Crista acima de 9, indicando que existem fatores que contribuem para emissão de energia vibracional com grande quantidade de choques instantâneos. Dessa forma, como abordado na ISO 2631-1 (1997) deve-se avaliar o valor de dose de vibração (VDV) em m.s^{-1,75} e não apenas o valor RMS.

Segundo a norma BS 6841 (1987) VDV suficientemente altos podem causar severos desconfortos, dores e ferimento. As magnitudes e durações de vibrações que produzem VDV na faixa de 15 m.s^{-1,75} causam mal-estar intenso, caracterizando severo desconforto, valores entre 8,5 m.s^{-1,7} até aproximadamente 15 m.s^{-1,75}, desconforto médio e valores abaixo de 8,5 m.s^{-1,75}, desconforto mínimo. Deste modo, nota-se que ambos os tipos de ônibus se caracterizam como “desconforto mínimo”, visto que estão abaixo de 8,5 m.s^{-1,75}. Cabe ressaltar que ainda não há um consenso por parte da comunidade científica em relação à influência da magnitude do VDV e o risco de danos que o corpo humano está exposto.

A Norma de Higiene Ocupacional 09 - Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro, da Fundacentro, apresenta considerações técnicas e a atuação recomendada em função da aceleração resultante de exposição normalizada ($a(8)$). De acordo com esta norma, observa-se os resultados obtidos neste trabalho para aceleração resultante de exposição se enquadram em “aceitável” (entre 0 e 0,5), em que a recomendação técnica é: “no mínimo, manutenção das condições existentes”.

Em 2002, a Comunidade Europeia estabeleceu na diretiva 2002/44/EC de 25 de junho, as prescrições mínimas em matéria de proteção dos trabalhadores contra os riscos para a sua segurança e saúde, resultantes ou advindos da exposição às vibrações mecânicas. A diretiva estabelece um valor de 0,5 m/s², como limite que deve desencadear alguma ação, e um valor limite de exposição diária fixado em 1,15 m/s², ambos normalizados para um período de referência de 8 horas de exposição diária. Com relação as recomendação desta norma, os valores totais ponderados de vibração normalizados estão abaixo do valor limite de nível de ação indicados, de 0,5 m/s².

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo da vibração de corpo inteiro em motoristas de ônibus do Sistema BRT – Expresso DF. As medições foram realizadas em conformidade com a norma ISO 2631-1 (1997), utilizando um medidor do tipo *seatpad* triaxial, *in situ*, na rota comercial, com mínimo de interferência possível nas condições operacionais características da condição de trabalho. Foram avaliados 02 ônibus do tipo Padrão e 02 ônibus do tipo Articulado.

Os resultados mostraram que o valor da aceleração RMS é maior na direção do eixo z, conforme divulgado na literatura. Verificou-se também que valor total ponderado da aceleração RMS dos ônibus Padrão é, em média, 7,7% maior que o dos ônibus Articulado. Uma possível contribuição para este aspecto está no fato de que o ônibus Articulado apresenta uma massa maior que o ônibus Padrão, o que está diretamente relacionado à vibração. Além disso, quando não esta na faixa exclusiva para o BRT, o ônibus Articulado trafega por asfalto com melhor qualidade (Eixo).

Quando comparados com critérios estabelecidos pela norma brasileira NHO 09 (2013), e ainda com normas internacionais vigentes, ISO 2631-1 (1997), BS 6841 (1987) e Diretiva Europeia 44/2002/CE, os resultados revelam que os motoristas dos ônibus avaliados estão expostos a níveis de vibração aceitáveis, pouco desconfortável e abaixo dos limites de exposição. Este aspecto se confirma com o fato de que nenhum dos motoristas que participaram do estudo se queixou de dores físicas associados às condições de trabalho.

Alguns fatores podem contribuir para que o nível de aceleração resultante esteja dentro dos limites aceitáveis, tal como o sistema BRT contar com uma frota nova de veículos que recebem manutenção preventiva; o motor dos veículos é localizado na parte traseira, distante do motorista; e ainda a maior parte do trajeto ocorrer em uma pista exclusiva, com pavimentação nova e mais adequada para tráfego de veículos pesados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: ao CNPq (Projeto nº 471277/2012-60) pelos recursos financeiros; à empresa de transporte do sistema BRT – DF por disponibilizar os veículos e possibilitar a realização das medições; à Universidade Paulista-DF a qual motivou a execução deste estudo em virtude do curso de especialização em segurança do trabalho; à Universidade de Brasília pelo suporte e instalações.

6. REFERÊNCIAS

- Balbinot, A., 2001, “Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde” Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Brasil, 1992, “Norma Regulamentadora 15: *Atividades e Operações Insalubres*”, Atlas, São Paulo, 1992.
- Brasil, 2002, “Convenções da OIT”, Ministério do Trabalho e Emprego.
- Brasil, 2013, “NHO 09: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico”, São Paulo: Fundacentro, Ministério do Trabalho e Emprego.
- BS 6841, 1987, “Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock”. British Standard Guide.
- Costa, N., Arezes P.M., Melo, R.B., 2014, “Effects of occupational vibration exposure on cognitive/motor Performance”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, p. 654-661.
- Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council, 2002, “On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration)”, *Official Journal of the European Communities*.
- Gerges, S.N.Y., 1990, “Ruído: Fundamentos e Controle”, NR Editora, Florianópolis, Brasil, 600 p.
- Griffin, M.J., 1990, “Handbook of human vibration”, Academic Press, London, 988 p.
- ISO 2361-1, 1997, “Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements”, *International Standardization*, Geneva.
- Kelsey, R.J. Hardy, 1975, “Driving of motor vehicles as a risk factor for acute herniated lumbar intervertebral disc” *Amer J Epidemiol*, Vol. 102, pp. 63–73
- Mansfield, N. J.; Holmlundb, P.; Lundstro, R.; Lenzuni, P.; Nataletti, P., 2006, “Effect of vibration magnitude, vibration spectrum and muscle tension on apparent mass and cross axis transfer functions during whole-body vibration exposure”, *Journal of Biomechanics*, Vol. 39, pp. 3062-70.
- NTU, 2011, Estudos de BRT no Brasil, Brasil.
- Portela B.S., 2014, “Vibrações de corpo inteiro em motoristas de ônibus: associação com variáveis de aptidão física e dor lombar”, Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil.
- Silva L.F., Mendes R., 2005, “Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores”, *Rev. Saúde Pública*, Brasil, pp. 9-17.
- Panjabi, M.M., Andersson, G.B.J., Jorneus, L., Hult, E. Mattsson, L., 1986, “In vivo measurement of spinal column vibrations”, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, Vol. 8, pp. 695-702.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

WHOLE BODY VIBRATION EXPOSURE IN METROPOLITAN BUS DRIVER: A STUDY APPLIED TO BRASÍLIA-DF BRT SYSTEM

Gabriela Cristina Cândido da Silva, gabrielacandido.s@gmail.com¹

Maria Alzira de Araújo Nunes, manunes@unb.br

¹Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama, Eng. de Energia¹/Eng. Automotiva², Área Especial de Indústria Projeção A-UnB, Setor Leste, 72.444-240, Gama-DF, Brasil.

Abstract. Motor vehicle drivers are exposed to whole body vibration (WBV) caused mainly by the roughness of the roads surface and engine vibration that is transmitted to the driver through the suspension system and the vehicle seat. Scientific community recognizes these vibrations as the cause of various health problems such as nausea, insomnia and back pain. Many bus drivers, who are exposed to vibration throughout the working day, report back pain that may be associated with WBV. In this context, this paper presents a study of WBV in bus drivers of BRT (Bus Rapid Transit) system in Brasília-DF. ISO 2631-1/1997 has been adopted to guide researchers in measuring WBV levels. Measurements were performed in situ on the trade route in two bus models: standard and articulated. The results were compared with criteria established by Brazilian standards, NR15 and NHO 09 (2013), and with international standards, European Directive 44/2002 / EC, BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997). The results show that the standard bus type has higher levels of vibration than articulated by approximately 7.7%. However, in both analyzed models, drivers are not exposed above the recommended limit levels. Some factors may contribute to these low acceleration levels, such as the BRT system have a new fleet, the vehicle motor is located at the rear, away from the driver, and yet most of the path occurs in an exclusive track, with new paving.

Keywords: WBV, bus driver, bus, ISO 2631-1