

# Análise de níveis de vibração em usuários de trens urbanos

Mário Fedatto Neto<sup>1</sup>  
Herbert Martins Gomes<sup>2</sup>

## Resumo

Os trens urbanos e metrô são uma realidade brasileira. Um aspecto que é delegado a um segundo plano, diz respeito à qualidade do transporte quanto à disponibilidade, lotação e segurança. Ultimamente, a vibração e o ruído produzidos por estes meios de transporte têm afetado a qualidade de vida nas vizinhanças dos trajetos e dos seus usuários. Neste artigo, são avaliados os níveis de vibração de corpo inteiro nos usuários de trens urbanos de Porto Alegre (Trensurb) em situações usuais de utilização. Em relação às doses de vibração e de aceleração *rms* medidas, quando comparados com normas, essas se mostraram baixas, tendo sido verificados valores avaliados no encosto, assento e piso, em pontos no veículo, abaixo do nível de ação (0,5 a 1,1 m/s<sup>2</sup>), e longe do limite de exposição. Em geral, os níveis de vibração medidos foram considerados confortáveis, de acordo com valores definidos em normas, entretanto em algumas situações e posições de medição, mostraram-se incômodos.

**Palavras-chave:** Vibração de Corpo Inteiro (VCI). Trens. ISO 2631.

## Abstract

*Urban trains and subways are a Brazilian reality. One aspect that is delegated to a second plan, concerns the quality transportation referred to availability, capacity and safety. Lately, vibration and noise produced by this means of transport have been affecting the life quality in neighborhoods and their users. In this paper, the whole body vibration levels in urban trains in Porto Alegre (Trensurb) are evaluated in some situations. With the regard to the vibration and rms acceleration doses, their values were very low, being measured values for the back, seat and floor, at some points in the vehicle, which are below the action limit (0.5 to 1.1 m/s<sup>2</sup>) and far from the exposure limit. Generally speaking, the measured vibration levels are considered comfortable, according to values defined in standards, however in some positions and situation, they can be considered uncomfortable.*

**Keywords:** Whole Body Vibration (WBV). Trains. ISO 2631.

1 Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC) na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil, engenheiro mecânico pela UFRGS. E-mail: mariofedatto@hotmail.com

2 Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor Associado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC). E-mail: herbert@mecanica.ufrgs.br

## 1 Introdução

Como colocado em Fedatto Neto (2016), algumas atividades do dia a dia expõem as pessoas a vibrações. O organismo possui modos de vibração naturais e, quando essa vibração coincide com uma vibração recebida externamente, ocorre a ressonância. Essa energia, se absorvida pelo organismo, pode provocar alterações nos tecidos e órgãos. Bruel & Kjaer Sound & Vibration Measurement (1989), dizem 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.

Ainda, Griffin (1990) define que a agitação, sofrida pelo corpo humano, não deve ser esperada ter uma única, simples ou facilmente previsível consequência. A vibração pode ser um incômodo, nauseante, estimulante ou insuportável, uma fonte de prazer ou a causa da dor. Um movimento oscilatório pode provocar irritação, desconforto, interferir com as atividades normais do dia a dia, prejudicar a saúde ou causar enjoo e depende de diversos fatores – incluindo as características do movimento, as características pessoais, as atividades por ela realizadas e outros aspectos do ambiente (temperatura, umidade, ruído sonoro, etc.). Tentar resumir o conhecimento, apenas com a recomendação de evitar alguma frequência de vibração, ou, através da definição de uma única curva que representa todas as respostas a todas as frequências do organismo humano, não reflete uma moderna compreensão dos efeitos de vibração sobre o corpo.

Estudos indicam que as vibrações na faixa de baixa frequência podem causar efeitos como dores abdominais, náuseas, dores no peito, perda de equilíbrio e contrações musculares. Queixas de fadiga, irritação, aumento da frequência cardíaca e até impotência no aparelho

reprodutor masculino podem ser geradas, a partir da exposição prolongada de corpo inteiro à vibração. As vibrações ocupacionais de curta duração também são prejudiciais, efeitos fisiológicos como aumento do batimento cardíaco também podem ser causados pela exposição à vibração de curta duração.

Como colocado por Fedatto Neto (2016), trens e metrô oferecem um ambiente com movimentos complexos em todas as direções, gerados pelos trilhos, veículo, piso, assento e encosto. Passageiros avaliam o quanto confortável é a sua viagem, não apenas baseado no movimento oferecido pelo vagão, e sim, pela interação de um conjunto de fatores como: barulho, temperatura, umidade, qualidade do ar, odores, aspectos gerais de limpeza e conforto do tipo de assento.

### 1.1 Motivação

A Trensurb (Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre S.A.) anunciou no mês de maio de 2014 a compra de 15 novos trens e afirma que o usuário terá mais conforto e ampliação da oferta de locomoção. Devido às reclamações sobre os trens anteriores e elogio aos novos trens, é a escolha do tema deste artigo avaliar os atuais níveis de vibração desses veículos. São escassos os estudos acadêmicos sobre a avaliação do nível de vibração para conforto em passageiros de trens e metrô no Brasil e no mundo. Tendo apenas a ISO 2631-4 como a norma mais adequada a esse contexto, mas ainda muito dependente da ISO 2631-1, referente a vibrações em geral. Este artigo se insere na tentativa de avaliar e comparar valores de vibração de corpo inteiro, referentes à saúde e ao conforto, verificando sua posição dentre uma compilação de autores e normativas, citadas por Harris e Piersol (2002), Griffin, (1990), como: Fothergrill, 1972; Osborne e Clark, 1974; Jones e Saunders, 1974; Fothergrill e Griffin, 1977; British Standard 6841, 1987; ISO 2631, 1997. Este artigo também pretende expressar resultados indicados pela recente norma regulamentadora Anexo 1 da NR-9

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), seguindo-se os procedimentos constantes na NHO-09 (FUNDACENTRO, 2013) e NR-15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

O objetivo é avaliar se os limites de exposição à vibração são respeitados para os usuários de trens da Trensurb de Porto Alegre e região metropolitana. Também são comparados e classificados os valores medidos com os critérios de limites de conforto, segundo cinco referências, e também aqueles constantes na norma ISO 2631-1, de 1997 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007), que vão de: “muito confortável”, “confortável”, “levemente confortável”, “levemente desconfortável”, “desconfortável” até “muito desconfortável”.

## 2 Revisão bibliográfica

### 2.1 A vibração

Quando se aborda a vibração, é fundamental estabelecer uma definição sobre o assunto, para melhor compreender os parâmetros e as relações que estão envolvidas. Assim, entende-se que vibração é qualquer movimentação que um corpo exerce em torno de um ponto fixo, que pode ser descrita pelo histórico de sua posição, velocidade ou aceleração, que é a forma mais usual de mensurá-la. Dessa maneira define Rao (2011), um corpo é considerado em estado de vibração, quando se encontra em movimento oscilatório em torno de um ponto de referência. Essa movimentação pode ser descrita pelo número de vezes que é completamente exercida dentro do intervalo de tempo de um segundo. Essa é a frequência desenvolvida pelo corpo, medida na unidade de Hertz [Hz].

Neste artigo, a referência está centrada no corpo humano que está exposto a qualquer vibração transmitida pelo veículo em razão de um evento externo a ele, fruto da interação entre trilhos e rodas, além do movimento relativo do motor de propulsão. Para a análise dos valores de vibração,

é possível estabelecer duas relações gráficas que permitem uma avaliação técnico-científica, a primeira por meio da amplitude de vibração ao longo tempo e, a segunda, através do cruzamento de amplitude de vibração e frequência, conhecida como espectro de frequência. Tal espectro representa o conteúdo de frequência dos sinais no tempo, sendo possível pela sua análise identificar quais componentes de frequências, presentes nos sinais que mais contribuem para o movimento oscilatório. Outro parâmetro de suma importância é o valor *rms* (*root mean square*) de um sinal, também conhecido como valor eficaz, que permite verificar a energia média contida no movimento oscilatório, estando nessa medida de energia acumulada, a mensuração do potencial lesivo da vibração. É em virtude da energia, contida na onda, que o movimento oscilatório gera danos aos tecidos humanos (GRIFFIN, 1990) e esse valor pode ser quantificado, estabelecendo o valor rms para uma função variável contínua  $a(t)$  da aceleração, medida no intervalo de tempo  $t_1 \leq t \leq t_2$ , onde:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [a(t)]^2 dt} \quad (1)$$

A consequência da vibração sobre os tecidos humanos está classificada, de acordo com suas características e devidas particularidades dentro da normatização da ISO 2631-1 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007). Essa classificação toma por base uma simplificação da estrutura física do corpo humano, resultando num sistema biomecânico, modelado como um sistema linear, estimado por meio de uma equivalência a sistemas amortecidos massa-mola com frequências naturais definidas. A figura 1 ilustra tal simplificação de sistemas corporais modelados por sistemas massa-mola. Na norma ISO, são apresentadas faixas de frequência para as duas modalidades vibracionais, para VMB de 6,3 a 1250 Hz e para VCI, a que realmente interessa para este artigo, uma extensão entre 0,1 e 80 Hz. Reforçando que as VCIs são as que incidem no

corpo como um todo, e a faixa estabelecida pode ser dividida em dois intervalos: o primeiro, entre 0,1 e 0,5 Hz, que são frequências geradoras de enjoo e, o segundo intervalo, entre 0,5 e 80 Hz, faixa para avaliação do conforto, percepção e saúde, faixa esta que interessa a este estudo.

## 2.2 Efeitos da vibração no corpo humano

Os movimentos e as tensões resultantes da aplicação de forças mecânicas no corpo humano têm vários possíveis efeitos: (1) o movimento pode interferir diretamente na atividade física do corpo; (2) pode haver danos ou destruição mecânica de tecidos; (3) pode haver efeitos secundários (incluindo fenômenos subjetivos), operando através de receptores biológicos e mecanismos de transferência, os quais produzem mudanças no organismo (HARRIS; PIERSOL, 2002). Respostas fisiológicas no sistema cardiovascular, respiratório, esquelético, endócrino e metabólico e, nos músculos e nervos, podem ser induzidas pela vibração. Com a frequência extremamente baixa de vibração, tal como ocorre em navios e veículos de transporte, pode causar cinetose (conhecida como doença do movimento). A ação da vibração sobre o corpo humano e o reflexo sobre a saúde se dá através da interação de diversos fatores circunstanciais, relativos ao tipo de exposição ao movimento oscilatório e de características individuais das pessoas expostas. Alguns dos aspectos mais relevantes são: a amplitude e o espectro de vibração que são características do tipo de vibração. Os demais aspectos dizem respeito à forma de exposição pelo período diário em que o corpo fica suscetível a ela como também à exposição pré-acumulada (HARRIS; PIERSOL, 2002). Além de todos esses aspectos já citados, em que se verifica o dano que a vibração pode causar ao tecido humano, há um fator pessoal, situação física e genética, que podem tornar algumas pessoas mais ou menos suscetíveis a doenças ocasionadas pela exposição à vibração do que outros na mesma situação.

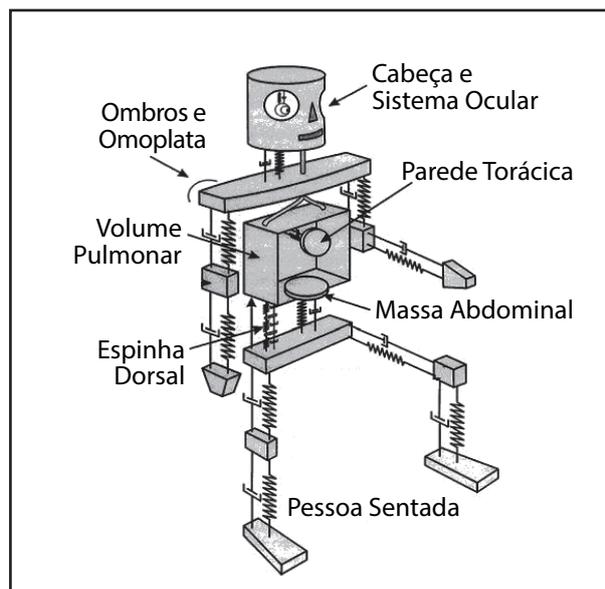


Figura 1 - Sistema Biomecânico simplificado corpo humano  
Fonte: Adaptado de Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement (1989).

Para a exposição a vibrações verticais, há o estabelecimento de três faixas de frequência que afetam pontos específicos dos sistemas de tecidos humanos, quando sob efeito de frequências ressonantes. No intervalo entre 5 e 10 Hz o fenômeno da ressonância pode ser percebido na região do tórax e do abdômen, numa faixa de frequência mais alta, de 20 a 30 Hz, o conjunto afetado é a cabeça e as musculaturas de seu suporte, no pescoço e nos ombros, já a última faixa de frequências se encontra entre 30 e 60 Hz, com incidência de prejuízos ao sistema ocular (BRÜEL & KJAER SOUND & VIBRATION MEASUREMENT, 1989; CHAFFIN; ANDERSON; MARTIN, 1999; GRIFFIN, 1990).

Em função da ressonância, podem-se detectar problemas condizentes com a faixa de exposição para vibração de corpo inteiro nos trabalhadores de transportes públicos. Pessoas que são diariamente submetidas às vibrações, dentro das faixas previamente elencadas, têm grande propensão a apresentar problemas na coluna, com dores e desconfortos, principalmente na região lombar, pilar de sustentação da maior parte do peso corporal, quando sentados para dirigir. Além disso, a literatura

ainda cita a possibilidade de problemas de cansaço visual e redução acentuada da nitidez da visão (GRIFFIN, 1990).

O tema da vibração de corpo inteiro é recorrente na literatura mundial, mas ainda incipiente na literatura nacional. Na literatura recente, pesquisas sobre os efeitos da vibração VCI nas condições assento de automóveis de passeio, como no trabalho de Nawayseh (2015), o efeito das espumas e ar em acolchoados dos assentos na transmissibilidade da vibração em veículos de passeio e veículos pesados, como nos trabalhos de Zhang, Qiu e Griffin (2015) e Ji, Eger e Dickey (2017), mostram essa preocupação referente ao conforto dos usuários. O efeito do desconforto em motoristas, quando em longos períodos de direção (SAMMONDS; FRAY; MANSFIELD, 2017) e avaliação do desconforto em passageiros de aeronaves (CILOGLU, H. et al., 2015) também indicam que há preocupação recente do estudo dos materiais e soluções para atenuar vibrações nos passageiros desses tipos de transporte. Infelizmente, da revisão bibliográfica feita na literatura nacional, não se encontrou trabalhos relacionados à avaliação do nível de exposição à vibração em trens urbanos, o que mostra que este estudo é o pioneiro nesse tipo de avaliação.

Como citado por Fedatto Neto (2016), no caso de trens e metrô urbanos, a principal causa da vibração transmitida aos passageiros e motoristas são oriundos da via, junções dos trilhos, motor, curvas, frenagens e acelerações. Parte das vibrações vindas da via são parcialmente absorvidos e atenuados pelo sistema de suspensão dos vagões, mas impactos e vibrações de baixa frequência dificilmente são atenuados. Parte da vibração é sentida pelos usuários em pé, diretamente apoiados no piso do vagão e outra parte nas barras de apoio e assentos. Aspectos importantes relacionados ao posicionamento dos passageiros e motoristas, em relação à posição no vagão, podem também afetar o nível de vibração sentido, além da direção do assento em relação à direção de movimento principal, a velocidade

do veículo, assim como acolchoados ou dispositivos dissipativos e atenuadores de vibração presentes em assentos especiais (motoristas).

### 2.3 Procedimentos de Avaliação de VCI

A guia, trilhos, rodas, suspensão, estrutura do corpo do carro, acessórios interiores e velocidade do veículo, todos contribuem para a experiência vibracional dos passageiros. 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 do veículo e a pessoa, cuja função é apoiar o corpo e transmitir o seu peso para a estrutura própria do veículo (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007). Para medir e interpretar os dados recolhidos, há uma metodologia e alguns procedimentos a serem seguidos que são previstos em normas. Para o caso de vibração de corpo inteiro (VCI), as normas analisadas foram a ISO 2631-1 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007), ISO 2631-4 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007) e a NR-15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), através do Anexo 8 que indica o NHO 09 (2013), como guia procedimental, valendo-se das definições e conceitos percorridos pela redação da Fundacentro.

Segundo Fedatto Neto (2016), 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 podem ser negligenciados pelos modelos de aquisição de dados por uso apenas da aceleração *rms*, pois diferentes espectros de frequência podem gerar valores de leitura similares em parâmetros distintos de aceleração, sendo que o efeito das vibrações nessas frequências em cada um dos três eixos de atuação será diferente. Em função dessa 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.

Essa correção gera um novo valor,  $a_w$ , a aceleração ponderada em frequência, usando as curvas de ponderação propostas pela norma, de acordo com o tipo de exposição e, diferenciadas se para fins da avaliação da saúde ou conforto. A equação (2) é empregada para o cálculo da aceleração ponderada *rms* em  $m/s^2$ , onde  $a_i$  representa a aceleração *rms* em uma dada faixa de frequência, e  $W_i$  é o fator de ponderação recomendado para esta faixa em questão, indicada por norma (GRIFFIN, 1990; HARRIS; PIERSOL, 2000; INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007):

$$a_{wi} = \sqrt{\sum (W_i a_i)^2} \quad (2)$$

A figura 2 apresenta o traçado das curvas de ponderação por frequências necessárias, para a

determinação da vibração de corpo inteiro, as curvas  $W_k$  e  $W_d$  são as únicas aplicadas na verificação do nível de exposição relativo à saúde em VCI. Diante da curva de ponderações e das faixas de vibração definidas pela norma ISO 2631-1(1997), tem-se estabelecido 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 avaliações quanto ao conforto, recomenda-se o uso da curva  $W_b$  para qualquer eixo. Como indicado por Fedatto Neto (2016), outra necessidade da medição da aceleração é a estipulação do fator multiplicador, denominado de *k*, que tem valor tabelado na norma, e se relaciona com a forma como o corpo humano percebe a vibração recebida por diferentes partes do corpo, de acordo com o triângulo axial, em que as excitações são distribuídas. Os valores de ponderação também se distinguem pela modalidade de afetação da vibração, se ela é para análise de conforto ou de saúde.

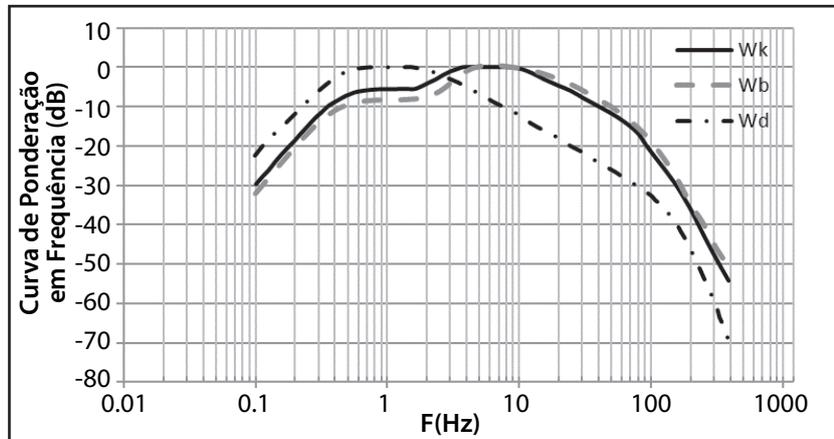


Figura 2 - Curva de ponderação por frequência  $W_k$ , utilizado para correção da aceleração no eixo z, e  $W_d$ , utilizado para correção da aceleração nos eixos x e y, para vibração de corpo inteiro. Presente também a curva de ponderação  $W_b$ , utilizada para avaliação de conforto em qualquer eixo  
 Fonte: Fundacentro (2013).

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 artigo, 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 tabela 1. Os mesmos valores são recomendados pela NHO-09 (FUNDACENTRO, 2014) e pela ISO 2631-4 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007).

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
Apoio dos pés $W_k$ e $k_x$ de 1,0	Apoio dos pés	
Encosto $W_c$ e $k_x$ de 1,0	Encosto	

Fonte: Adaptado de International Organization for Standardization (2007).

Assim, com a determinação dos fatores multiplicação estabelecidos, é possível avaliar um valor de aceleração total ponderada,  $a_v$ , em  $m/s^2$  pela equação (3):

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

Nesse ponto há uma diferença entre as recomendações da ISO 2631-1 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007) e da NR-15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). A ISO diz que a aceleração total pode ser avaliada pela equação anterior, caso as acelerações *rms*, nas três direções, tenham a mesma magnitude. Caso contrário, deve-se tomar a maior das acelerações *rms*. No procedimento da NHO-09 (FUNDACENTRO, 2013), a variável correspondente é a aceleração média resultante (*amr*), equivalente a fazer a soma dos quadrados dos termos com os fatores multiplicadores.

Outra avaliação que deve ser observada é a possibilidade de haver lapsos diversos de exposição à vibração, com períodos de exposição que não são iguais e também com diferentes magnitudes. Para essas situações, deve-se determinar a aceleração total equivalente,  $a_{ve}$ , tomando por base o período de tempo da exposição, simbolizada na Equação (4) por  $T_i$ .

$$a_{ve} = \sqrt{\sum a_{vi}^2 \cdot T_i / \sum T_i} \quad (4)$$

Como a avaliação pertinente à insalubridade precisa levar em conta o tempo de exposição diária, conforme determina o anexo 8 da

NR-15 (2014), há necessidade de se fazer uma extrapolação sobre a exposição que o trabalhador recebe diariamente, para poder comparar com os valores previamente estabelecidos por norma, compatíveis com a jornada diária de 8 horas. Para essa verificação sobre um tempo de referência de jornada, usa-se a equação (5), a chamada aceleração resultante da exposição normalizada, onde  $T_0$  se apresenta como duração de jornada de 8 horas;  $T$ , como jornada efetiva do trabalhador, e  $a_{ve}$  é a aceleração ponderada (GRIFFIN, 1990; HARRIS; PIERSOL, 2002; INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007).

$$A(8) = a_{ve} \sqrt{T/T_0} \quad (5)$$

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 têm variações bruscas (ou picos), em relação à variação *rms* usual, visto que ressalta a ocorrência de eventuais picos de aceleração, o que não é conseguido com o valor *rms*. Para a determinação desse parâmetro, aplica-se a equação (6), onde VDVR representa o valor de dose de vibração representativa da exposição diária na composição dos eixos *x*, *y* e *z*.

$$VDV = \left[ \int_{t_1}^{t_2} [a(t)]^4 dt \right]^{1/4} \text{ e } VDVR = \left[ \sum_j (VDV_j)^4 \right]^{1/4} \quad (6)$$

A preocupação com a análise dos dados experimentais, referentes ao movimento oscilatório, não se restringe ao equacionamento da aceleração equivalente, a norma ISO 2631 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007) também prescreve a correta posição dos eixos de análise para a medição da vibração sobre o corpo. Conforme mostra a figura 3, 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.

Esse sistema de orientação axial permanece o mesmo para a tomada de medições transmitidas do assento e piso, alterando para encosto, devido à sua superfície ser em  $90^\circ$  com o plano do chão. Logo, o eixo  $x$  da pessoa se torna o eixo  $z$  do sensor, o eixo  $y$  da pessoa se torna o eixo  $x$  do sensor, e o eixo  $z$  da pessoa se torna o eixo  $y$  do sensor (figura 3).

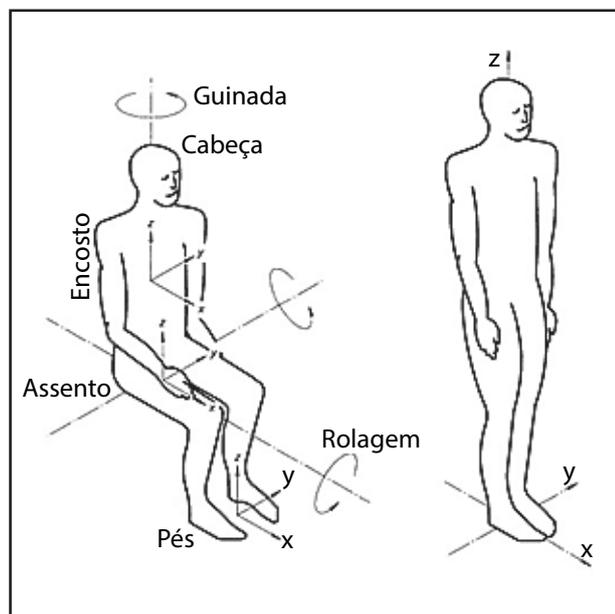


Figura 3 - Eixos e orientações de medição para posição sentada e de pé  
Fonte: Adaptado de International Organization for Standardization (2007).

### 3 Materiais e métodos

#### 3.1 Procedimentos e equipamentos utilizados

Para a determinação dos valores vibracionais efetivamente transmitidos ao corpo, utilizou-se acelerômetros, devidamente posicionados em um dispositivo de contato (*seat pad*) compatível com o equipamento de leitura empregado. No caso, a ferramenta usada para a leitura e armazenamento dos dados coletados foi o medidor e analisador portátil de vibrações Quest VI-400Pro (QUEST TECHNOLOGIES, 2005). Esse aparelho tem a capacidade de interpretar as informações apresentadas por quatro canais de entrada distintos, porém, no presente experimento, só foram utilizados três desses canais, para os estímulos recebidos no terno axial  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

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 medida na interface em sinais elétricos proporcionais, de forma que a excitação mecânica, percebida pelos acelerômetros, seja entendida pelo analisador. O transdutor aplicado foi 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 o *seat pad* na interface entre pessoa e assento, pés e piso e pessoa e encosto, locais onde há a transferência de vibração do trem, na posição sentada, correspondente com as exigências da norma ISO 2631-1 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007), conforme demonstra a ilustração da figura 4; também foi observada a posição do alinhamento entre o núcleo do *seat pad* com a vertical.

Para proceder à aquisição de todos os dados, exigidos para uma análise científica, é preciso configurar os equipamentos de medição, para que seja possível interpretar de forma coerente os sinais recebidos pelos instrumentos. Para esse processo, fez-se o uso do software compatível com o ferramental, o *Quest Suite Professional II*, que permite a definição de constantes de calibração dos sensores, valores das constantes multiplicativas e definição de curvas de ponderação

de acordo com a finalidade desejada da análise em questão. Depois de devidamente preparado o aparelho de medição e de feito o armazenamento de dados de campo, ainda é preciso depurar todas as informações. Isso é feito com o mesmo programa, o qual apresenta ferramentas de pós-processamento, com a produção de gráficos e com todas as informações necessárias para a avaliação da vibração. A figura 4 indica o posicionamento do *seat pad* no banco para encosto e assento.

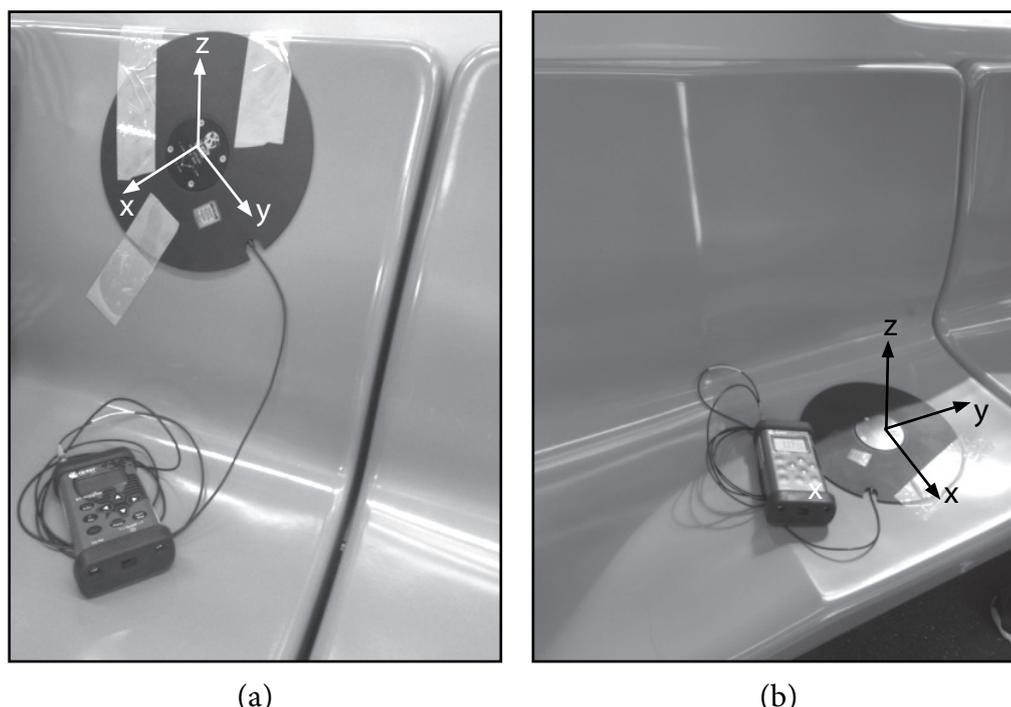


Figura 4 - (a) Seat pad posicionado corretamente no encosto para procedimento de medição de vibração; (b) Seat pad posicionado corretamente no assento. Os eixos coordenados indicam orientação final dos acelerômetros  
Fonte: Fedatto Neto (2016).

### 3.2 Modelos de trens da Trensurb em análise

Para determinar o nível de exposição à vibração, é importante considerar que existe uma frota de trens, divididos em vagões do modelo novo e os antigos, como mostrado na figura 5. Por essa razão, optou-se por tomar as medições em cada modelo de trem, novo e antigo, para encosto, piso e assento. As medições foram feitas, durante a operação normal do trem, com transporte de passageiros e nas velocidades condizentes com a realidade diária de condução, desde

a primeira estação, Mercado Público em Porto Alegre, até a última estação, Novo Hamburgo, localizada na cidade de Novo Hamburgo.

A Trensurb possui 22 estações, totalizando 43,8 km de extensão. Está constituído de duas linhas bidirecionais eletrificadas V1 E V2, sinalizadas, em bitola de 1,60 m, com faixa de domínio totalmente segregada, com um trecho de 31,7 km em superfície, totalmente bloqueado e sem cruzamento a nível e, outro trecho, com 12,1 km em elevado, com parte inferior totalmente urbanizada. Transporta cerca de 230 mil

peças por dia, totalizando mais de 80 km entre linhas principais, pátios e desvios.

A frota é composta por 25 Trens Unidades Elétricas (TUE's) série 100 - antigos trens - da linha 1, cada um com quatro carros, sendo dois carros motores MA e MB, nas pontas e dois carros reboques RA e RB, no meio. A composição básica é constituída de MA-RA-RB-MB, podendo ser operado em unidade simples, como também em até três unidades acopladas (12 carros). O trem é em aço inox, com 4 portas de cada lado, equidistantes, com 1600 mm de largura e 1900 mm de altura cada, com passagem do tipo *Open Wide Gangway*, atendendo as normas

NBR 14021 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) e UIC 561 (UNION INTERNATIONALE DES CHAMINS DE FER, 1991), com ótima iluminação interna, sistema de ventilação e exaustão, fornecidos por consórcio japonês, liderado pela Mitsui & Co., tendo sido fabricados pelas empresas: Nippon Shario Seizo Kaisha Ltda., Hitachi Ltda. e Kawasaki Heavy Industries Ltda. A capacidade de passageiros sentados é de 228 e 853 em pé, totalizando 1081 passageiros, na taxa de 5,4 pessoas em pé/m<sup>2</sup>. Nas condições atuais, a capacidade máxima de oferta de serviço é de 21600 passageiros/hora/sentido.



(a)



(b)

Figura 5 - Interior dos (a) antigos e (b) novos trens. Diferença da orientação das cadeiras que são apenas laterais nos novos trens

Fonte: Fedatto Neto (2016).

Já os 15 TUE's série 200 - novos trens - foram fornecidos pelo consórcio FrotaPoa, formado por Alstom e CAF. Eles têm gasto energético de cerca de 30%, inferior à série 100, sistema de ar condicionado automatizado, sistema de comunicação multimídia, iluminação interna com LED e sistemas de autodiagnóstico e monitoramento de falhas. Sua composição básica é similar e eles também podem operar acoplados. Um diferencial dos trens novos para os antigos está na orientação dos bancos que, nos novos está apenas na lateral, enquanto que, nos antigos, eles estão posicionados, tanto na lateral, quanto na direção de tráfego do trem. Quanto à capacidade total, possui um valor semelhante por

carro ao antigo trem, entretanto admitindo uma maior quantidade de pessoas em pé em função da disposição dos bancos.

Iniciada a construção em 1980, ligando o centro da cidade de Porto Alegre às cidades ao norte da área metropolitana (Canoas, Esteio, Sapucaia do Sul, São Leopoldo e Novo Hamburgo), a escolha desse trajeto foi feita para poder desafogar o trânsito da BR-116, única opção, antes da construção dessa linha, já com sérios problemas de trânsito na época.

A linha de trens da Trensurb foi inaugurada em 2 de março de 1985, percorrendo da estação do Mercado Público até Sapucaia do Sul. Em 9 de dezembro de 1997, foi estendida até a Unisinos

e, em 20 de novembro de 2000, já possuía uma estação no centro de São Leopoldo. Finalmente, em 30 de janeiro de 2014, a cidade de Novo Hamburgo é contemplada com quatro (4) estações na cidade, facilitando o deslocamento de pessoas por mais de 40 km até a capital.

A distância média entre estações é de aproximadamente 2100 metros e a distância mínima é de 1500 metros. O tempo nominal de parada nas estações é de 20s, sendo possíveis paradas

mais longas ou curtas. Possuem plataformas de embarque e desembarque de 190 metros de extensão e são compatíveis com a operação de dois trens acoplados. A alimentação elétrica do trem é através de catenária em 3300 Vcc, alimentada pelo conjunto de cinco subestações de tração, com três (3) cabines de seccionamento e paralelismo e duas (2) cabines de paralelismo.

O trecho completo de medição de Porto Alegre a Novo Hamburgo está indicado na figura 6.

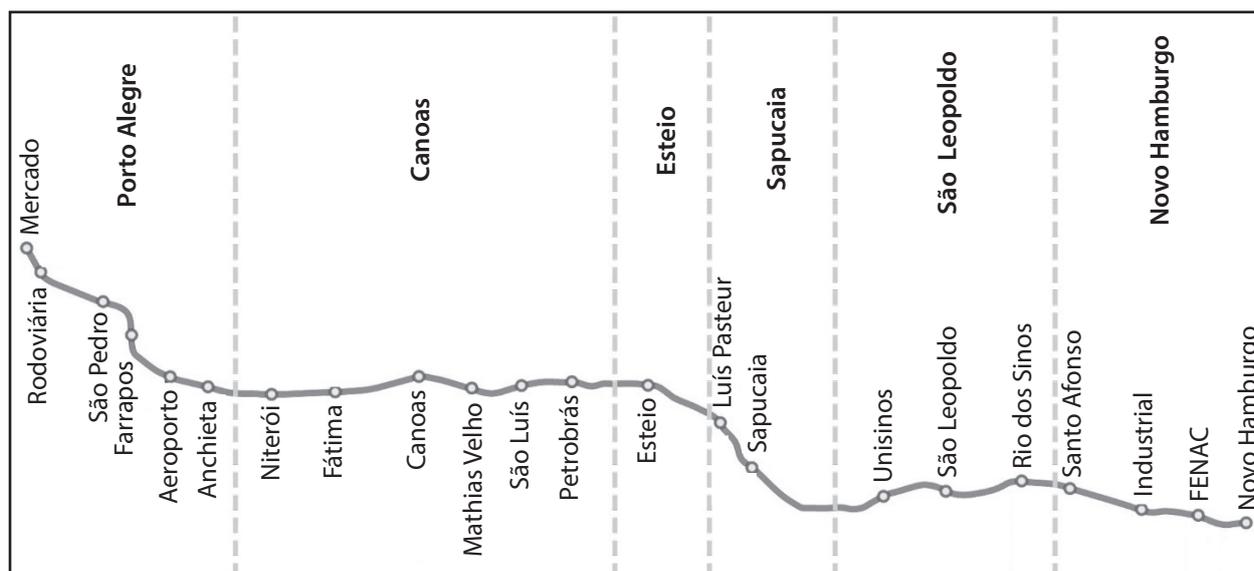


Figura 6 - Trajeto de mais de 40 km realizado pela Trensurb entre a cidade de Porto Alegre e Novo Hamburgo  
Fonte: Fedatto Neto (2016).

### 3.3 Normas para análise de VCI

Para analisar e quantificar os efeitos da vibração de corpo inteiro sobre o corpo humano, é necessário atentar para as normas que regulam e padronizam medições e análise de vibrações. Há normas internacionais e nacionais que tratam do tema, de forma que, para o presente artigo, foram respeitadas as indicações e preceitos de normas ISO (International Organization for Standardization), a Diretiva Europeia e normas brasileiras (NR- Normas Regulamentadoras e NHO-Normas de Higiene Ocupacional). As normas ISO utilizadas foram: ISO 2631-1 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007) que trata dos métodos adequados para determinar os

valores relativos à vibração, ao conforto e à saúde humana; ISO 2631-4 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007) que trata de orientações para a avaliação dos efeitos da vibração e conforto em sistema de transporte sobre trilhos.

A Diretiva Europeia consultada foi a European Directive 2002/44/CE (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002) que apresenta valores limites de exposição para um trabalhador na Europa, diante de vibrações de corpo inteiro e de seu respectivo nível diário de exposição. Dentro da normatização nacional, foram usadas a norma reguladora NR-15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), a qual apresenta os limites de exposição

diária para considerar uma atividade laboral como insalubre dentro do território brasileiro e a Norma de Higiene Ocupacional NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013), mostrando os critérios e procedimentos para a avaliação de VCI sobre trabalhadores. Pela base da normatização, estabelecida expressamente no Anexo 8 da Norma de Higiene Ocupacional, os valores relativos à vibração de corpo inteiro que indicam existência de condição insalubre são os que superam os limites de exposição diária de  $1,1 \text{ m/s}^2$  de aceleração, resultante de exposição normalizada ou  $21,0 \text{ m/s}^{1,75}$  de valor de dose de vibração resultante (VDVR).

## 4 Resultados

### 4.1 Avaliação sobre conforto e risco à saúde

A seguir, estão listados os valores medidos no assento, encosto e piso dos trens da Trensurb, durante o seu trânsito operacional de trabalho, em duas situações distintas: (1) veículo do modelo novo em seu trajeto normal e completo da linha; (2) trem de modelo antigo, novamente seguindo o seu trajeto completo da linha (da estação Mercado Público - Porto Alegre até a estação Novo Hamburgo - Novo Hamburgo).

Para cada uma das configurações propostas acima, obteve-se os respectivos valores da aceleração *rms* ponderada pela frequência, para os três eixos do terno axial, estipulado pela ISO 2631-1 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007) e também NHO-09 (FUNDACENTRO, 2013). Essas acelerações *rms* têm suas leituras obtidas, através dos acelerômetros e, são convencionalmente chamadas de  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  e  $a_{wz}$ , indicando que estão ponderadas pelas respectivas curvas. Por meio dessas acelerações parciais, calcula-se a vibração total  $a_v$ , pela aplicação da equação (3), com o emprego dos valores medidos em campo e, com os fatores de multiplicação adequados para avaliação da vibração de corpo inteiro quanto à saúde. Pela NHO-09 (FUNDACENTRO, 2013), essa soma vetorial deve sempre ser feita.

Com o valor de vibração total, torna-se possível o cálculo da aceleração resultante da exposição normalizada, convencionalmente  $A_{(8)}$ , por intermédio da equação (5), onde se apresenta a duração diária de exposição do trabalhador à vibração, para ser confrontada com o valor relativo a uma exposição de 8 horas diárias, o período da jornada de trabalho padrão.

Um resumo dos valores que serão avaliados é mostrado na tabela 2, a seguir:

Tabela 2 - Limites de vibração, quanto à saúde e ao conforto

<b>Saúde (NR-15, 2014)</b>	
Valor Limite de Ação ( <i>Vibration Action Exposure</i> ): VAE	0,5 $\text{m/s}^2$
Limite de Exposição à Vibração ( <i>Vibration Limit Exposure</i> ): VLE	1,1 $\text{m/s}^2$
<b>Conforto (ISO 2361-1, 1997), medido em <math>\text{m/s}^2</math></b>	
Confortável	< 0,315 $\text{m/s}^2$
Levemente confortável	0,63 $\text{m/s}^2$
Pouco desconfortável	1,0 $\text{m/s}^2$
Desconfortável	1,6 $\text{m/s}^2$
Muito desconfortável	2,5 $\text{m/s}^2$
Extremamente desconfortável	> 2,5 $\text{m/s}^2$

Fonte: Adaptado de International Organization for Standardization (2007) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014).

### 4.2 Resultados para assento

A primeira leitura de dados refere-se ao assento no qual o passageiro realiza o seu trajeto. A escolha na posição do assento medido foi aleatória. Fazendo a análise dos dados, pode-se dizer que os valores indicados, para o assento do novo trem, apresentam um nível seguro de exposição à vibração, quanto à saúde. Além disso, para o valor de aceleração *rms* total medido, tem-se um nível de vibração que pode ser considerado “confortável” (soma *rms* da terceira linha da tabela 3, comparado aos níveis de conforto da ISO 2631-1 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007), tabela 2. A figura 7 indica o sinal da aceleração *rms* para

cada eixo nessa situação, onde se pode observar a diminuição do nível de aceleração na parada em cada estação. A tabela 3 resume os valores estatísticos nesta medição. A tabela 4 indica os resultados do tempo teórico

necessário, para atingir os valores limites, no caso da exposição ser apenas igual ao tempo de medição, ou do tempo de exposição ser de 8h. Assume-se que a medição seja representativa da exposição à vibração.

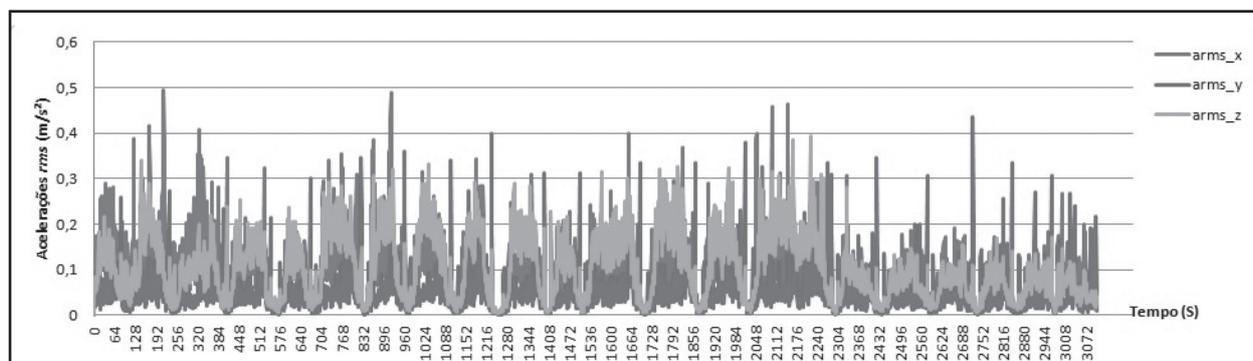


Figura 7 - Gráfico de acelerações rms ao longo do trajeto, medição realizada no novo trem  
Fonte: Fedatto Neto (2016).

Tabela 3 - Acelerações medidas e calculadas para piso no antigo trem

<b>TEMPO DE MEDIÇÃO</b>		<b>0,86</b> Horas			
EIXOS	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>SOMA*</b>	
RMS	0,1169	0,0652	0,1264	0,1841	m/s <sup>2</sup>
VDV	1,3813	0,9951	1,501	2,2694	m/s <sup>1,75</sup>
Max rms			0,1264		m/s <sup>2</sup>
A(8), Max RMS			0,0604		m/s <sup>2</sup>
Max VDV			1,5006		m/s <sup>1,75</sup>
VDV (8)			1,3004		
<b>TEMPO DE EXPOSIÇÃO</b>		<b>8,00</b> Horas			
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>SOMA</b>	
Tempo para atingir VAE	146,3274	470,9387	125,2487	59,0266	Horas
Tempo para atingir VLE	708,2247	2279,3432	606,2037	285,6886	Horas
A(8) equivalente	0,1169	0,0652	0,1264	0,1841	m/s <sup>2</sup>
<b>TEMPO DE EXPOSIÇÃO</b>		<b>0,86</b> Horas		<b>=TEMPO MEDIÇÃO</b>	
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>SOMA</b>	
Tempo para atingir VAE	169,6550	546,0158	145,2159	68,4366	Horas
Tempo para atingir VLE	821,1301	2642,7167	702,8449	331,2332	Horas

\*Onde SOMA indica a soma ponderada vetorial da forma:

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

Fonte: Fedatto Neto (2016).

Tabela 4 – Hipóteses de valores de exposição e classificação quanto ao conforto para assento no novo trem

HIPÓTESES		
<b>i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO</b>		
Para atingir VAE	79,68 Horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	385,64 Horas	Não atingiu VLE
<b>ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e a ACELERAÇÃO rms MEDIDA, é representativo dessas 8h</b>		
Para atingir VAE	59,03 Horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	285,69 Horas	Não atingiu VLE
<b>Classificação quanto ao Conforto (ISO 2631,1997)</b>		Confortável

Fonte: Fedatto Neto (2016).

O gráfico, apresentado na figura 8, indica o sinal da aceleração *rms* para cada eixo nessa situação no antigo trem. Fazendo agora a análise dos dados e realizando os cálculos pertinentes para os valores do antigo trem, observa-se que, nesse caso, se atinge o valor limite de ação em menos de 8h, em um tempo representativo, tornando, assim, a exposição em uma jornada de trabalho de um passageiro suscetível à tomada de ação para minimizar esta exposição.

Ainda relacionando a soma *rms* da tabela 5 com os valores de conforto da ISO, para essa condição, está levemente confortável para o passageiro. Em comparação com o novo trem, esse valor é 2,5 vezes maior, o que indica, nesse quesito, ser mais confortável que o antigo trem. A tabela 6 indica os resultados do tempo teórico necessário, para atingir os valores limites, no caso da exposição ser apenas igual

ao tempo de medição, ou do tempo de exposição ser de 8h. Assume-se que a medição seja representativa da exposição à vibração.

#### 4.3 Resultados para encosto do banco

Analisando os dados e calculando os valores para o banco do antigo trem, tem-se uma condição de segurança quanto à saúde e, comparando com os valores de conforto da ISO, é classificado como nível confortável de exposição à vibração. Para os valores do novo trem, os valores medidos mostram que, para o encosto, também se tem um nível confortável de exposição, além de uma condição segura frente à vibração. Diferentemente para o assento, no caso do encosto, ambos os trens (novo e antigo) apresentam níveis de aceleração similares, não havendo melhorias nesse quesito para o novo trem.

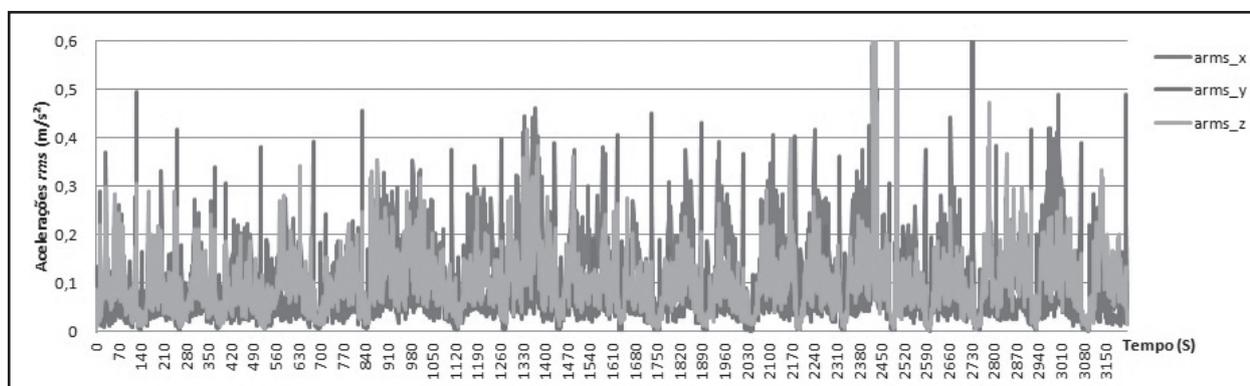


Figura 8 - Gráfico de acelerações *rms*, enquanto o aparelho foi instalado no assento, medição realizada no antigo trem  
 Fonte: Fedatto Neto (2016).

Tabela 5 - Acelerações medidas e calculadas para assento no antigo trem

<b>TEMPO DE MEDIÇÃO</b>		<b>0,89</b>		Horas	
EIXOS	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	SOMA	
RMS	0,2592	0,3419	0,2636	0,5035	m/s <sup>2</sup>
VDV	15,6831	21,1541	14,848	23,5837	m/s <sup>1,75</sup>
Max rms			0,3419		m/s <sup>2</sup>
A(8), Max RMS			0,1683		m/s <sup>2</sup>
Max VDV			21,1541		m/s <sup>1,75</sup>
VDV (8)			13,6352		
<b>TEMPO DE EXPOSIÇÃO</b>		<b>8,00</b>		Horas	
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	SOMA	
Tempo para atingir VAE	29,7713	17,1107	28,7921	7,8887	Horas
Tempo para atingir VLE	144,0933	82,8158	139,3537	38,1812	Horas
A(8) equivalente	0,2592	0,3419	0,2636	0,5035	m/s <sup>2</sup>
<b>TEMPO DE EXPOSIÇÃO</b>		<b>0,89</b>		Horas =TEMPO MEDIÇÃO	
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	SOMA	
Tempo para atingir VAE	33,3054	19,1419	32,2099	8,8251	Horas
Tempo para atingir VLE	161,1982	92,6466	155,8960	42,7135	Horas

Fonte: Fedatto Neto (2016).

Tabela 6 – Hipóteses de valores de exposição e classificação quanto ao conforto para assento no antigo trem

<b>HIPÓTESES</b>		
<b>i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO</b>		
Para atingir VAE	8,83 horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	42,71 horas	Não atingiu VLE
<b>ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e a ACELERAÇÃO rms MEDIDA, é representativo dessas 8h</b>		
Para atingir VAE	7,89 horas	Atingiu VAE
Para atingir VLE	38,18 horas	Não atingiu VLE
<b>Classificação quanto ao Conforto (ISO 2631,1997)</b>		Levemente Confortável

Fonte: Fedatto Neto (2016).

#### 4.4 Resultados para piso

A terceira e última leitura de dados refere-se ao piso que o usuário está apoiado, durante seu trajeto (tabela 7 e tabela 9). A figura 9 indica as leituras feitas para o caso do novo trem e, na figura 10, para o antigo trem. A tabela 8 indica os resultados do tempo teórico necessário, para atingir os valores limites, no caso da exposição ser apenas igual ao tempo de

medição, ou do tempo de exposição ser de 8h. Assume-se que a medição seja representativa da exposição à vibração.

Isso significa que, em comparação com limites normativos, não haverá problemas para o usuário do novo trem exposto à vibração, em termos de saúde, caso o mesmo realize apenas uma viagem ou mesmo passe 8h dentro dos vagões. Igualmente, fazendo a análise dos dados e realizando os cálculos para os valores do

antigo trem, pode-se dizer que, em termos de saúde, não haverá problemas para o usuário, caso o mesmo realize apenas uma viagem ou passe 8h dentro dos vagões. Assim, como no assento, no caso da vibração no piso, quanto

ao conforto, ambos os trens (novo e antigo) apresentam níveis de aceleração similares, sendo o do novo trem, levemente melhor que o do antigo trem, considerados ambos como um nível confortável de exposição.

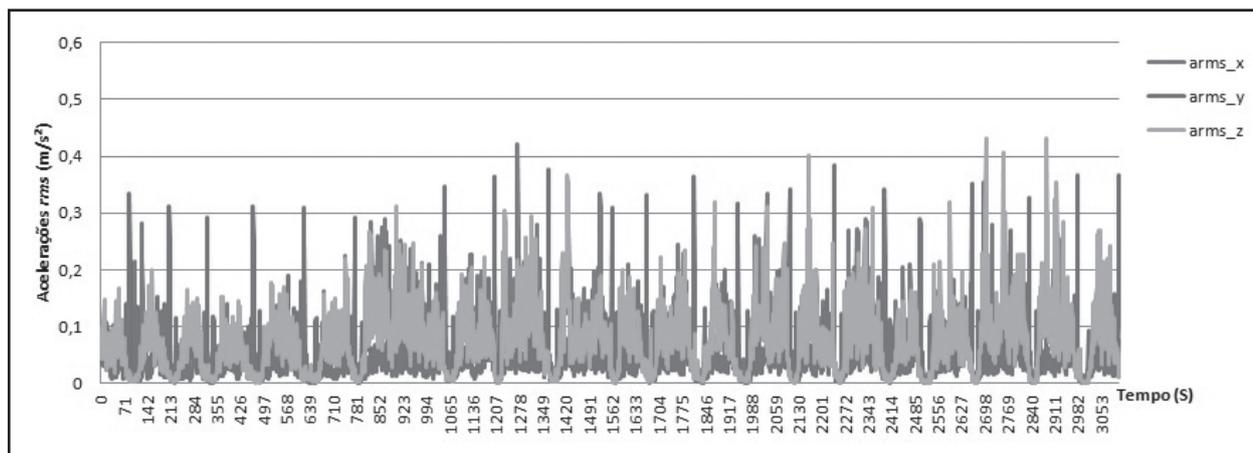


Figura 9 - Gráfico de acelerações rms enquanto o aparelho foi instalado no piso, medição realizada no novo trem  
Fonte: Fedatto Neto (2016).

Tabela 7 - Acelerações medidas e calculadas para piso no novo trem

<b>TEMPO DE MEDIÇÃO</b>		<b>0,86</b>		Horas	
<b>EIXOS</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>SOMA</b>	
RMS	0,0992	0,0654	0,0975	0,1537	m/s <sup>2</sup>
VDV	1,2091	1,0198	1,185	1,5095	m/s <sup>1,75</sup>
Max rms			0,0992		m/s <sup>2</sup>
A(8), Max RMS			0,0505		m/s <sup>2</sup>
Max VDV			1,2091		m/s <sup>1,75</sup>
VDV (8)			0,8653		
<b>TEMPO DE EXPOSIÇÃO</b>		<b>8,00</b>		Horas	
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>SOMA</b>	
Tempo para atingir VAE	203,2198	468,0851	210,4561	84,6831	Horas
Tempo para atingir VLE	983,5839	2265,5318	1018,6075	409,8663	Horas
A(8) equivalente	0,0992	0,0654	0,0975	0,1537	m/s <sup>2</sup>
<b>TEMPO DE EXPOSIÇÃO</b>		<b>0,86</b>		Horas =TEMPO MEDIÇÃO	
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>SOMA</b>	
Tempo para atingir VAE	235,3140	542,0091	243,6931	98,0570	Horas
Tempo para atingir VLE	1138,9199	2623,3240	1179,4748	474,5959	Horas

Fonte: Fedatto Neto (2016).

Tabela 8 – Hipóteses de valores de exposição e classificação para o piso no novo trem

<b>HIPÓTESES</b>		
<b>i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO</b>		
Para atingir VAE	98,06 Horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	474,60 Horas	Não atingiu VLE
<b>ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e a ACELERAÇÃO rms MEDIDA, é representativo dessas 8h</b>		
Para atingir VAE	84,68 Horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	409,87 Horas	Não atingiu VLE
<b>Classificação quanto ao Conforto (ISO 2631,1997)</b>		Confortável

Fonte: Fedatto Neto (2016).

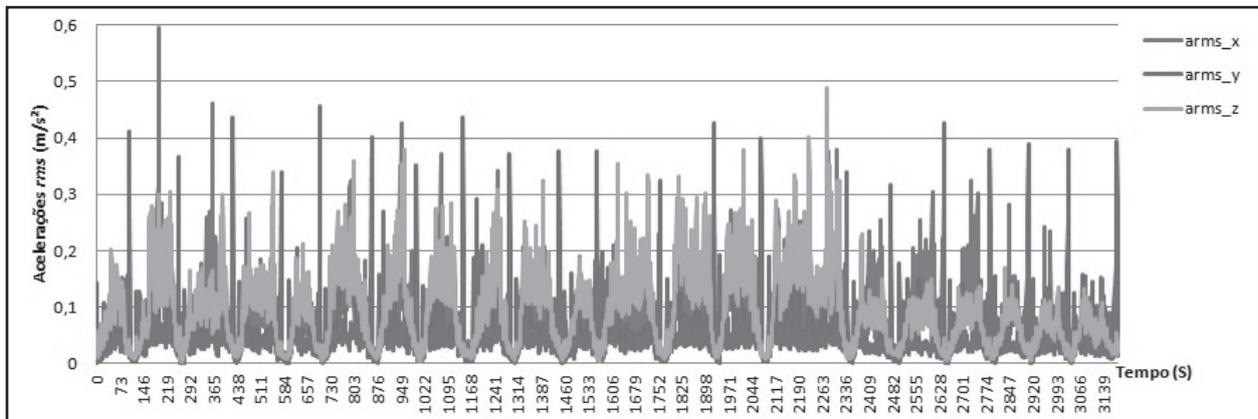


Figura 10 - Gráfico de acelerações rms, enquanto o aparelho foi instalado no piso, medição realizada no antigo trem  
Fonte: Fedatto Neto (2016).

Tabela 9 - Acelerações medidas e calculadas para piso no antigo trem

<b>TEMPO DE MEDIÇÃO</b>	<b>0,89</b>		<b>Horas</b>		
<b>EIXOS</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>SOMA</b>	
RMS	0,0981	0,0712	0,1169	0,1684	m/s <sup>2</sup>
VDV	1,2576	1,3080	1,448	2,3213	m/s <sup>1,75</sup>
Max rms			0,1169		m/s <sup>2</sup>
A(8), Max RMS			0,0560		m/s <sup>2</sup>
Max VDV			1,4478		m/s <sup>1,75</sup>
VDV (8)			1,3388		
<b>TEMPO DE EXPOSIÇÃO</b>	<b>8,00</b>		<b>Horas</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>SOMA</b>	
Tempo para atingir VAE	207,9281	393,9730	146,4287	70,5375	Horas
Tempo para atingir VLE	1006,3719	1906,8293	708,7150	341,4014	Horas
A(8) equivalente	0,0981	0,0712	0,1169	0,1684	m/s <sup>2</sup>
<b>TEMPO DE EXPOSIÇÃO</b>	<b>0,89</b>		<b>Horas</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>SOMA</b>	
Tempo para atingir VAE	234,8733	445,0276	165,4043	79,6783	Horas
Tempo para atingir VLE	1136,7866	2153,9334	800,5566	385,6432	Horas

Fonte: Fedatto Neto (2016).

Tabela 10 – Hipóteses de valores de exposição e classificação para o piso no novo trem

<b>HIPÓTESES</b>		
<b>i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO</b>		
Para atingir VAE	79,68 horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	385,64 horas	Não atingiu VLE
<b>ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e a ACELERAÇÃO rms MEDIDA, é representativo dessas 8h</b>		
Para atingir VAE	70,54 horas	Não atingiu VAE
Para atingir VLE	341,40 horas	Não atingiu VLE
<b>Classificação quanto ao Conforto (ISO 2631,1997)</b>		Confortável

Fonte: Fedatto Neto (2016).

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 tabela 11, chega-se também à conclusão que, para as medidas feitas, todas passam, em média, a serem classificadas como “confortáveis”.

Tabela 11- Valores limite para avaliação do nível de conforto especificado por outros autores

<b>Fothergill (1972)</b>	m/s <sup>2</sup>	<b>British Standard 6841 (1987)</b>	m/s <sup>2</sup>
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
<b>Fothergill; Griffin (1977)</b>	m/s <sup>2</sup>	<b>Não desconfortável</b>	0,25-0,315
Muito desconfortável	2,7	<b>Oborne; Clarke (1974)</b>	m/s <sup>2</sup>
Desconfortável	1,8	Muito desconfortável >	2,3
Med. desconfortável	1,1	Desconfortável	2,3
Perceptível, mas não desconfortável	0,4	Levemente desconfortável	1,2
<b>Jones; Saunders (1974)</b>	m/s <sup>2</sup>	<b>Levemente confortável</b>	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 e Piersol (2002); International Organization for Standardization (1997); European Agency for Safety and Health at Work (2002).

## 5 Conclusões

De acordo com os dados obtidos nas medições de vibração de corpo inteiro, para fins de avaliação de conforto, o trem urbano Trensurb está com níveis de vibração confortáveis, mesmo quando se refere ao veículo do modelo antigo. Houve apenas uma das avaliações, indicando “levemente confortável” para o veículo do modelo antigo, numa situação de aproximadamente 8h de exposição dentro do vagão, situação dificilmente atingida por um passageiro. Nesta condição, ele estaria atingindo o limite de ação, com o indicativo de que mudanças no assento seriam necessárias para minimizar essa exposição.

Segundo a NR-15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), os valores de vibração averiguados em termos do valor de dose de vibração (VDV) se mostraram baixos e aceitáveis, diante das faixas estabelecidas como perigosas ou insalubres pelas normas relativas à saúde. Com relação à vibração diária de exposição ( $A_{(g)}$ ) os valores verificados foram baixos, tendo todos ficados abaixo da faixa de ação, entre 0,5 e 1,1  $m/s^2$ , e, muito longe, ao limite de exposição de 1,1  $m/s^2$ . Como indicado pela tabela 11 anteriormente exposta, as leituras das vibrações medidas (assento e encosto), no que tange ao conforto, encontram-se na categoria de classificação de “confortáveis”, de acordo com diversos outros autores e normas internacionais.

Durante a revisão bibliográfica, realizada neste estudo, não se encontrou fontes de referência específica sobre nível de conforto e saúde para passageiros em trens urbanos no Brasil, o que sugere um tema que pode vir a ser pesquisado mais profundamente, além de tornar este artigo pioneiro no tema no Brasil. Como os trens urbanos são um meio de transporte mundialmente difundido, pesquisas e revisões bibliográficas para autores fora do país podem gerar bons comparativos e que resultará certamente numa melhoria da qualidade e conforto

do transporte para os usuários frequentes desse modo de transporte.

Por fim, o trabalho realizado pôde aferir que atualmente os passageiros da Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre S.A. estão numa situação de conforto em suas viagens, no que se refere à vibração, não correndo nenhum risco para sua saúde a exposição diária usual desse transporte.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14021**: transporte: acessibilidade no sistema de trem urbano ou metropolitano. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 9**: programa de prevenções de riscos ambientais: Anexo n. 1 Vibrações. 2014. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr9.htm>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 15**: atividades e operações insalubres: Anexo n. 8 Vibrações. 2014. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.html>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

BRÜEL & KJAER SOUND & VIBRATION MEASUREMENT. **Primer**: human vibration, booklet. Naerum, 1989. 31 p.

CHAFFIN, D. B.; ANDERSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. **Occupational biomechanics**. New York: John Wiley & Sons, 1999.

CILOGLU, H. et al. Assessment of the whole body vibration exposure and the dynamic seat comfort in passenger aircraft. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 45, p. 116-123, 2015.

EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK. **Directive 2002/44/EC - vibration**. Bilbao, 2002.

FEDATTO NETO, M. **Avaliação dos níveis de vibração de corpo inteiro (VCI) em usuários de trens urbanos em Porto Alegre e região metropolitana**. 2016. 20 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) –

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

FUNDACENTRO. **Normas de Higiene Ocupacional - NHO 09**: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro. 2013. Disponível em: <<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>>. Acesso em: 30 abr. 2016.

GRIFFIN, M. J. **Handbook of human vibration**. London: Academic, 1990.

HARRIS, C. M.; PIERSOL, A. G. **Harris's shock and vibration handbook**. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2002. 1456 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631-1:1997**: mechanical vibration and shock: evaluation of human exposure to whole body vibration – part 1: general requirements. Geneva, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631-4:2001**: mechanical vibration and shock: evaluation of human exposure to whole body vibration – part 4: guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems. Geneva, 2007.

JI, X.; EGER, T. R.; DICKEY, J. P. Evaluation of the vibration attenuation properties of an air-inflated cushion with two different heavy machinery seats in multi-axis vibration environments including jolts. **Applied Ergonomics**, v. 59, p. 293-301, 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, p. 82-90, 2015.

QUEST TECHNOLOGIES. **VI-400PRO**: real-time vibration analyzers, preliminary owner's manual. Oconomowoc, 2005.

RAO, S. S. **Mechanical vibrations**. 5th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2011. 1084 p.

SAMMONDS, G. M.; FRAY, M.; MANSFIELD, N. J. Effect of long term driving on driver discomfort and its relationship with seat fidgets and movements (SFM). **Applied Ergonomics**, v. 58, p. 119-127, 2017.

UNION INTERNATIONALE DES CHAMINS DE FER. **UIC Leaflet 561**: means of intercommunication for coaches. 8th ed. Paris, 1991.

ZHANG, X.; QIU, Y.; GRIFFIN, M. J. Transmission of vertical vibration through a seat: effect of thickness of foam cushions at the seat pan and the backrest, **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 48, p. 36-45, 2015.