

Investigação dos níveis de vibração em usuários de diferentes modelos de bicicleta

Investigation of vibration levels in users of different bicycle models

Guilherme Oliveira Rocha¹

Mário Fedatto Neto²

Herbert Martins Gomes³

Resumo

Atualmente, o meio de transporte diário e de lazer por meio de bicicletas está cada vez mais popular por sua sustentabilidade, auxiliando a diminuição da emissão de gases nocivos e melhorando a saúde individual do ciclista. A investigação das vibrações atuantes em usuários desse meio de locomoção é de suma importância para avaliar seu potencial de risco à saúde, assim como sua gradação de conforto, com o intuito de tornar esse meio de transporte ainda mais atrativo. Este trabalho avalia experimentalmente os níveis de vibração em usuários de bicicletas, a partir de um conjunto de medições, utilizando-se de acelerômetros tri-axiais e um sistema de aquisição de dados. Ao final, são obtidas informações suficientes para classificar a atividade ciclística frente a critérios de conforto e saúde. Além disso, também é gerado conhecimento sobre suas causas, e melhorias são propostas, a fim de aprimorar o desempenho quanto ao conforto e à saúde na exposição à vibração.

Palavras-chave: Vibração de Corpo Inteiro (VCI). Vibração Mão-Braço (VMB). Bicicletas.

Abstract

Currently, the means of daily transportation and leisure by means of bicycles are increasingly popular due to its sustainability, helping to reduce the emission of harmful gases and improving the individual health of the cyclist. The investigation of vibrations acting on users of this means of locomotion is of paramount importance to assess their potential health risk, as well as their degree of comfort, in order to make this equipment even more attractive. This work experimentally evaluates the vibration levels in bicycle users from a set of measurements, using tri-axial accelerometers and a data acquisition system. In the end, sufficient amount of information is obtained to classify the cycling activity regarding to comfort and health criteria. Besides that, it is also generated knowledge about its causes, and improvements are proposed, in order to enhance performance in terms of comfort and health in exposure to vibration.

Keywords: Whole Body Vibration (WBV). Hand-Arm Vibration (HAV). Bicycles.

1 Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-1970-9031>. E-mail: rocha-guilherme@hotmail.com

2 Doutorando, mestre e engenheiro em Engenharia Mecânica pela UFRGS. <https://orcid.org/0000-0003-4909-9286>. E-mail: mariofedatto@hotmail.com

3 Doutor em Engenharia Civil pela UFRGS e professor titular do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC) na UFRGS. <https://orcid.org/0000-0001-5635-1852>. E-mail: herbert@mecanica.ufrgs.br

Artigo recebido em 19.11.2020 e aceito em 21.03.2021.

1 Introdução

Nas metrópoles e capitais brasileiras, tem se tornado comum o uso de bicicletas e patinetes para uso pessoal, através de aplicativos. O mercado de entregas (*delivery*), principalmente em tempos de pandemia por COVID-19, foi um dos que mais cresceu nos últimos anos e, de acordo com a Associação Brasileira de Bares e Restaurantes (ABRASEL), citado em Mercado & Consumo (2018), movimentou cerca de R\$ 10 bilhões no ano de 2017. Os pedidos são encomendados, via aplicativo de celular, e as entregas de alimentos são feitas com carros, motocicletas ou bicicletas. No momento, onde a taxa de desemprego no Brasil está, segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) do ano de 2019, citado em G1 Economia (2019), em torno de 12,5%, atingindo cerca de 13 milhões de brasileiros, os aplicativos de *delivery* acabam sendo uma alternativa de obtenção de renda para uma parcela dos desempregados. Com isso, torna-se importante o estudo de vibrações em bicicletas como veículo de trabalho, bem como a análise de saúde e conforto nessa atividade laboral.

Relatórios disponibilizados pela StartSe (2018) mostram que o negócio de bicicletas e patinetes elétricos parece ser um negócio sustentável e rentável. Empresas perceberam a possibilidade de terem um negócio lucrativo nesse nicho de mercado, utilizando bicicletas por impulso humana ou mesmo bicicletas elétricas. Algumas das empresas disponibilizam as bicicletas em pontos (estações) espalhados numa região limitada que estão travadas por meio de engates que liberaram o uso delas, através de uso de aplicativo e contratação de planos mensais ou diários de uso. Outras empresas disponibilizam a bicicleta ou patinete elétrico, sem a necessidade de estacionar numa estação fixa da empresa. Em ambos os casos, o uso é limitado dentro de certas regiões da cidade.

Usuários de bicicletas estão expostos a riscos de acidentes e fatores como, por exemplo, ruídos provenientes de outros veículos, vibrações, variações térmicas, inalação de poeira, gases e vapores. A vibração, em que os usuários de bicicletas estão expostos, é proveniente das irregularidades do piso, sendo transmitidas para o assento e causando Vibração de Corpo Inteiro (VCI) e, para o guidão, a Vibração Mão-Braço (VMB). O estudo desses fenômenos é importante para evitar que a vibração do corpo humano entre em ressonância com a do veículo, podendo, ao longo do tempo, causar dores musculares, enjoo ou até doenças degenerativas. As análises são feitas com base em normas internacionais como as normas ISO

2631-1, ISO 2631-4, ISO 5349 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 1997, 2001a, 2001b), a Diretiva Europeia - *European Directive 2002/44/CE* (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002), normas brasileiras NR-15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) e as normas de higiene ocupacional NHO 09 e 10 (FUNDACENTRO, 2013a, 2013b).

No contexto atual de pandemia do COVID-19 e, com o uso crescente de bicicletas no meio urbano, questionou-se avaliar os referidos níveis de conforto, para os tipos e modelos de bicicletas comerciais e de passeio, oferecidas por empresas de compartilhamento e de aplicativos. Diversos trabalhos na literatura reportam pesquisas similares em países como Holanda e Dinamarca, com o intuito de avaliar a qualidade das pistas e o nível de conforto oferecido aos usuários das bicicletas. Nesse sentido, vale ressaltar que este é um trabalho original e pioneiro sobre medição da condição de exposição à vibração em usuários de bicicletas, em Porto Alegre/RS, em um contexto em que bicicletas de aplicativo são utilizadas para entregas de alimentos.

Sendo assim, o propósito deste trabalho é avaliar os valores de VCI e VMB, verificar os limites da normativa NR-15, 2014, anexo 8, (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), considerando as normas NHO 09 e 10 de 2013, bem como o nível de conforto dos ciclistas. O escopo do trabalho está limitado às condições de medição (bicicletas e trajetos medidos), assim como usuários investigados em condições que são semelhantes àquelas de uso diário urbano. Foram escolhidos quatro (4) modelos de bicicletas, dois (2) deles disponíveis por empresas de aplicativo para aluguel e utilizados por entregadores. Os outros dois (2) modelos foram escolhidos, devido às suas peculiaridades (bicicleta tipo de corrida e bicicleta tipo *Mountain Bike* com amortecedores dianteiros) e para avaliar desempenho nas medições no uso por ciclistas autônomos.

Dito isso, houve a avaliação do nível de vibração em bicicletas comerciais e de passeio, comumente utilizadas na cidade de Porto Alegre/RS, semelhante às utilizadas em outras cidades do País. São feitas medidas experimentais de aceleração no assento, guidão e eixo do pneu dianteiro de alguns modelos de bicicletas, avaliando a transmissibilidade de vibração, assim como os valores RMS (*root mean square*) de aceleração, com o intuito de avaliar o grau de conforto e, eventualmente, avaliar se há risco à saúde

ao expor-se à vibração, quando utilizadas como um meio de trabalho.

2 Revisão bibliográfica

Segundo George (2009), o conceito de conforto varia de pessoa a pessoa. Psicologicamente, a sensação de dor é bem mais fácil de rotular que a de conforto. O autor afirma que o ser humano é construído sem sensores de conforto, apenas para o desconforto e especificamente para a dor. Em seu trabalho, relata os diversos tipos de mecanismos que podem ser colocados em bicicletas, de forma a aumentar o conforto, como: insertos de elastômeros na suspensão, amortecedores de massa sintonizados no guidão das bicicletas, bancos e garfos com amortecedores discretos, apenas para citar alguns.

No trabalho de Gomes e Savionek (2014), avalia-se a exposição humana à vibração, transmitida ao sistema mão-braço de ciclistas em atividade de lazer. Diversos tipos de bicicletas, pavimento, velocidades e ciclistas com IMC (Índice de Massa Corpórea) diferentes são avaliados com o objetivo de identificar as configurações que geram menos vibração.

No trabalho de Hastings *et al.* (2010), descreve-se o desenvolvimento de um sistema de testes em laboratório, para medir os efeitos da vibração, transmitida na performance de ciclistas. Uma esteira, juntamente com espirômetros e células de carga, são utilizadas para monitorar a performance do ciclista, durante a atividade. O sistema foi capaz de diferenciar, a partir da vibração o uso dos diferentes tipos de quadros de bicicleta, mas não houve uma significativa diferença entre a performance dos voluntários (em 5 minutos de teste). Entretanto, o sistema pode verificar que a magnitude da vibração transmitida coincide em valor com aqueles pretendidos e alegados pelos fabricantes das bicicletas.

Com o objetivo de avaliar a resistência à rolagem e às acelerações resultantes, devido a perturbações externas para diferentes superfícies, Holzel, Hochtl e Senner (2012) testam, em seu trabalho, uma bicicleta de corrida, em situações como: placas de concreto, paralelepípedos, asfalto e cascalho autoaglutinante. Eles concluem que o conforto diminui com o aumento da velocidade e que a menor resistência de rolagem é obtida em asfalto. Eles salientam a importância de persuadir o uso das bicicletas como meio de transporte, através da construção de linhas de bicicleta que sejam mais atrativas em termos de conforto.

Leblanc *et al.* (2014) revelam os efeitos e a importância do amortecimento na vibração transmitida

a ciclistas, afirmando que adicionar amortecimento à bicicleta pode resultar em diminuição da vibração transmitida ao ciclista. Uma bicicleta projetada com insertos de gel amortecedor é testada em três (3) configurações: com o inserto de gel, com o inserto e material amortecedor, enrolado ao quadro da bicicleta e, sem o inserto de gel. Eles concluem que, em todas as configurações e medições, o amortecimento adicionado não reduziu a vibração transmitida ao ciclista. As métricas usadas para a comparação são descritas em seu trabalho Leblanc *et al.* (2014) que são: a aceleração RMS, a força transmitida e a potência absorvida pelo ciclista.

Em estudo sobre a influência das condições de teste na classificação do conforto de pneus de bicicletas urbanas, Lépine, Champoux e Drouet (2013) descrevem que o peso do ciclista e o tipo de excitação (ruído branco, impacto ou excitação típica de estradas) não têm influência significativa nos níveis de vibração transmitida ao ciclista, mas que a postura do ciclista, sim. Recomenda o cuidado em testes, em manter fixo esse parâmetro de postura, para evitar resultados duvidosos. As mesmas conclusões são apresentadas no artigo de Lépine, Champoux e Drouet (2014) e que foram resumidos, a partir da proposição de um protocolo a ser seguido para a comparação do conforto em rodas de bicicletas, numa situação que não fosse em laboratório, mas em *in-situ* e que permite diferenciar os níveis de vibração entre dois pares de rodas diferentes de bicicletas, embora alerte que testes de laboratório continuem sendo os mais precisos para esse tipo de comparação.

Numa comparação entre efeitos dos níveis de vibração experimentada, durante ciclismo em estradas e fora de estrada, Macdermid, Fink e Stannard (2015) apresentam uma investigação, onde a hipótese de que amortecimento adicional possa demandar mais trabalho do ciclista, assim como um efeito psicológico (aumento do VO₂ máximo), em condições idênticas de trajeto é comprovada. Chegam à conclusão que a aceleração tri-axial medida é maior no caso do trajeto *off-road* no guidão, nos braços, nas pernas e no assento, mas não na coluna ou na cabeça.

3 Fundamentação teórica

As principais causas da vibração, transmitidas ao usuário de bicicletas, são oriundas da via e da velocidade com que o veículo de duas rodas trafega. Além do mais, tipo de banco, tipo de pneu, pressão do pneu e peso do usuário também são fatores que podem, de certa forma, atenuar ou mesmo amplificar essa

vibração, provinda do solo. Parte das vibrações da via são parcialmente atenuados pelos acolchoados/suspensão do selim ou pelas borrachas dos guidões e por parte no sistema do pneu, mas as vibrações de impacto ou as de baixa frequência, dificilmente, são atenuadas. Essa vibração é sentida pelos usuários, através, principalmente, das nádegas e pelas mãos, além de uma outra pequena parcela que sente pelos pés, pois são as partes em contato com a bicicleta.

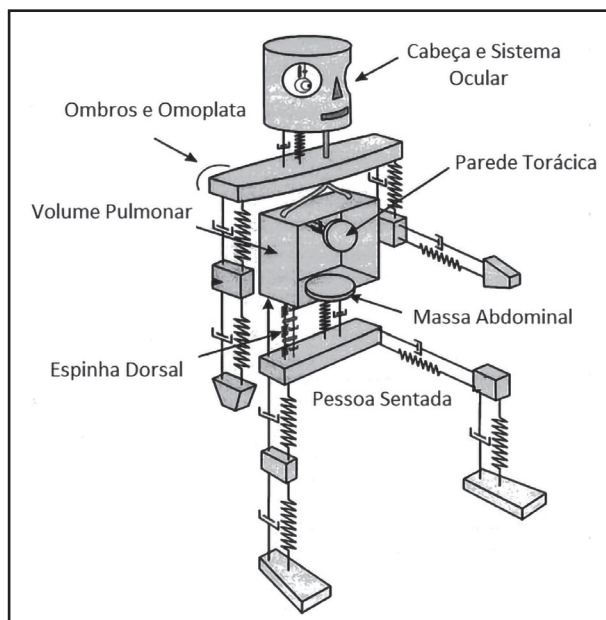
Aspectos importantes relacionados à postura do usuário, conforme mencionado anteriormente na revisão bibliográfica, assim como dimensões da bicicleta e centro de massa resultante, quando o usuário está montado, podem também afetar o nível de vibração sentido. As excitações causadas nas bicicletas são transmitidas para o corpo humano, podendo entrar em ressonância, causando desde dores musculares, enjoo e até doenças degenerativas como, por exemplo, a Doença dos Dedos Brancos (OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION, 2019). A atuação da vibração sobre os tecidos humanos está classificada, de acordo com suas características e devidas particularidades, dentro da normatização da ISO 2631-1, 1997. 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 um equivalente amortecido massa-mola. O valor RMS da aceleração é um valor que, na maior parte das vezes, é o utilizado para quantificar a intensidade da vibração recebida, o valor é obtido, através da equação 1. Para um sinal de aceleração $a(t)$, medido em um intervalo de tempo $T_1 \leq t \leq T_2$, por exemplo, o valor RMS representa um valor constante que teria a mesma potência do valor variável ao longo do tempo.

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [a(t)]^2 dt} \quad (1)$$

Para a exposição a vibrações verticais, há o estabelecimento de basicamente três faixas de frequência que afetam pontos específicos dos sistemas de tecidos humanos, quando sob o 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, 1989; CHAFFIN; ANDERSON; MARTIN, 1999; GRIFFIN, 1990). A figura 1 ilustra um corpo humano e indica suas regiões.

Figura 1 - Sistema Biomecânico simplificado do corpo humano



Fonte: Adaptado de Brüel & Kjaer (1989).

3.1 Normas para análise de VCI e VMB

Para análise dos efeitos da vibração de corpo inteiro sobre o corpo humano e sobre o sistema mão-braço, é necessário seguir as normas que regulam e padronizam medições e análise de vibrações. Há normas internacionais e nacionais que tratam do tema, de forma que, para a realização do presente trabalho, foram respeitadas as indicações e preceitos dessas.

Utilizou-se a Norma Reguladora NR-15, em seu anexo 8 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) que 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, 2013a), mostrando os critérios e procedimentos, para a avaliação de VCI sobre trabalhadores.

A Diretiva Europeia 2002/44/CE (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002), apresenta valores limites de exposição para VCI de $1,15 \text{ m/s}^2$, para um tempo de exposição de 8h e de $0,5 \text{ m/s}^2$, como valor de limite de ação, abaixo do qual não haveria risco à saúde para VCI. A mesma norma indica um valor para VMB de $5,0 \text{ m/s}^2$

e 2,5 m/s², para os respectivos valores de limites de exposição e ação, para uma exposição de 8h.

A norma ISO 2631-1 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997) trata dos métodos adequados, para determinar os valores relativos à vibração, ao conforto e à saúde humana. A ISO 5349-1 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001b) é a norma correspondente, para a vibração do sistema mão-braço. Os limites diários para VCI, quanto à saúde, e uma exposição de 8h são de e 0,43 m/s², para o limite de ação e de 0,87 m/s², para o valor limite de exposição (além do qual a insalubridade estaria caracterizada). Para vibração VMB, a norma indica um gráfico que relaciona o valor da aceleração com o tempo de exposição, para que 10% de uma população exposta apresente a doença dos dedos brancos. Assim, para os limites de exposição e uma jornada de 8h de um tempo de vida de trabalho de 5,77 anos, tem-se os limites de 5,0 m/s², para indicar insalubridade e de 2,5 m/s², para indicar alerta na exposição, onde 10% da população exposta teria prevalência da referida doença. Na tabela 1, abaixo, apresenta-se a classificação de conforto para corpo inteiro, segundo a Norma ISO 2631-1/1997 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997) e que será tomada como parâmetro comparativos neste trabalho.

Tabela 1 - Classificação quanto ao conforto, de acordo com a Norma ISO 2631-1/1997

Conforto ISO 2631-1, 1997	
a_v (m/s ²)	Classificação
<0,315	Confortável
0,315 a 0,63	Levemente confortável
0,5 a 1,0	Pouco desconfortável
0,8 a 1,6	Desconfortável
1,25 a 2,5	Muito desconfortável
>2,0	Extremamente desconfortável

Fonte: Adaptado de International Organization for Standardization (1997).

3.2 Procedimentos para avaliação de VCI e VMB

Para o caso de vibração de corpo inteiro, as normas analisadas foram a ISO 2631-1/ 1997 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997) e a NR-15/2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), através do anexo 8 que

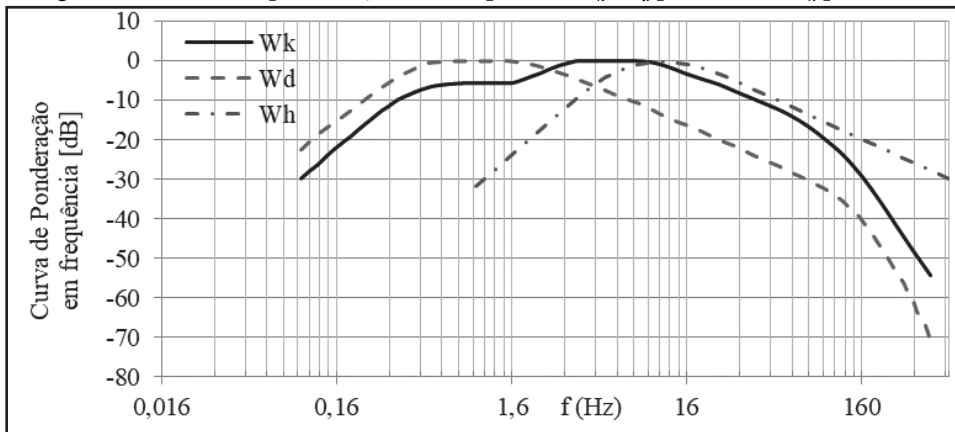
indicada como guia procedimental o NHO-09/2013 (FUNDACENTRO 2013a), tomando como base as definições e conceitos discorridos pela redação da FUNDACENTRO. Para a vibração do sistema mão-braço, segue-se a ISO 5349-1/2001 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001b), os correspondentes procedimentos descritos na NHO-10/2013 (FUNDACENTRO, 2013b) e os valores da NR-15/2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

As medições são realizadas nas interfaces: assento/corpo e guidão/mão. Esses são os pontos de contato direto entre a estrutura da bicicleta e a pessoa, e têm a função de sustentar e guiar o ciclista, além de transmitir seu peso para a estrutura da própria bicicleta. Em função da diferente sensibilidade do corpo humano, quanto às faixas de frequências, é preciso corrigir as leituras obtidas pelos sensores, com a aplicação das curvas de compensação, para medições de movimentos oscilantes. Assim, há a atribuição de predominância do efeito de algumas frequências e eixos sobre outras (pelo efeito da ressonância), de acordo com a sensibilidade do corpo humano para diferentes tipos e orientações do movimento. Essa correção gera um novo valor, usando as curvas de pesos propostos pela norma de acordo com o tipo de exposição, para fim de saúde ou conforto. A equação 2 é a empregada para o cálculo de a_w , a aceleração ponderada em frequência em m/s², que representará a aceleração RMS e W_i significará o fator de ponderação recomendado e advindo da norma (GRIFFIN, 1990; HARRIS; PIERSOL, 2002; INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997).

$$a_{wi} = \sqrt{\sum_i [W_i \cdot a_i]^2} \quad i = x, y \text{ ou } z \quad (2)$$

A figura 2 apresenta o traçado das curvas de ponderação, por frequência necessária, para a determinação da vibração de corpo inteiro, os fatores W_k e W_d são os únicos aplicados na verificação do nível de exposição, relativo à saúde em VCI. Para VMB, a curva indicada é a W_h . Com base nas curvas de ponderação e nas faixas de vibração, definidas pela norma ISO 2631-1/1997 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997), obtém-se os fatores de ponderação, para a correção da leitura da aceleração RMS na vertical, o fator W_k , nos eixos transversais, e o fator W_d , para análise de VCI, na superfície de contato do assento. Para VMB, utiliza-se a curva W_h em qualquer eixo.

Figura 2 - Curvas de ponderação em frequência W_k , W_d para VCI e W_h para VMB



Fonte: Fundacentro (2013) e adaptada de International Organization for Standardization (1997; 2001a).

Há a necessidade para a obtenção da aceleração, a estipulação de um fator multiplicador, denominado de k_i , com $i = x, y$ ou z , cujo valor é tabelado na norma ISO 2631-1 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997), de acordo com o fator de ponderação e direção de medição. Esse fator k_i se relaciona com a

forma como o corpo humano percebe a vibração em suas diferentes partes. Os valores de ponderação também são diferenciados pelo tipo de incidência de vibração, se ela é para análise de conforto ou de saúde. Para VMB, fatores k_i são equivalentes à unidade. Dessa forma, a aceleração equivalente a_{ve} é avaliada, de acordo com a equação 3 abaixo:

$$a_{ve} = [(k_x a_{wx})^2 + (k_x a_{wy})^2 + (k_x a_{wz})^2]^{1/2} \tag{3}$$

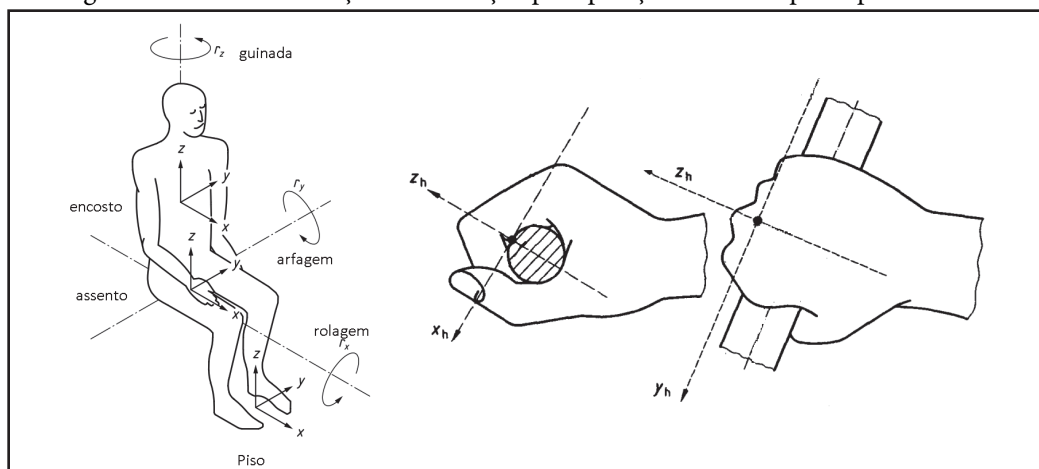
Para outros tempos de exposição, a aceleração equivalente é dada pela equação 4:

$$A(8) = a_{ve} \sqrt{T/T_0} \tag{4}$$

O valor de $A(8)$ equivale à definição de “aren” (aceleração resultante de exposição normalizada), definido na norma brasileira NR-15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

TÉCNICAS, 2014). A figura 3 detalha a disposição dos eixos pelas normas ISO 2631-1/1997 e ISO 5359/2001 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997, 2001b), porém para este trabalho, o eixo y foi trocado com o eixo x , para facilitar a análise dos dados. Para respeitar a composição dos eixos, o eixo z ficou apontando para baixo na bicicleta. Essa troca é desfeita posteriormente, para respeitar devidamente os eixos normativos.

Figura 3 - Eixos e orientações de medição para posição sentada e para apoio da mão



Fonte: Adaptado de International Organization for Standardization (1997; 2001b).

O parâmetro adimensional transmissibilidade de vibração é definido como a razão entre valores de aceleração de saída e de entrada em um sistema. Para o caso de bicicletas, que será analisado neste artigo, tal parâmetro pode ser definido como $T = a_{rms,1}/a_{rms,2}$ $\times 100$ que é a relação entre a aceleração RMS da saída (assento ou guidão) pela aceleração da entrada (eixo da roda dianteira). Haverá amplificação da vibração, para $T > 100$ e atenuação, para $T < 100$.

4 Material e métodos

Nesta pesquisa, rotinas no *software* de programação matemática MATLAB® são desenvolvidas, com o objetivo de medir as acelerações, obtidas com sensores do tipo acelerômetro, assim como, pós-processar os dados colhidos. Todos os componentes eletrônicos são selecionados de forma que as medições estejam dentro

de padrões previstos em normativas internacionais.

Para a determinação dos valores vibracionais efetivamente transmitidos ao corpo, utilizou-se três acelerômetros tri-axiais ligados a uma placa de aquisição (figura 4). No caso, os instrumentos usados para detectar as vibrações do experimento foram três acelerômetros analógicos do modelo da empresa Analog Devices ADXL-335 e uma placa de aquisição modelo USB-1208FS da empresa Measurement Computing, que é alimentada pela fonte USB do computador. Essa placa de aquisição tem a capacidade de interpretar informações apresentadas por até oito canais, já os acelerômetros identificam estímulos dos eixos x , y e z . Sendo assim, por essa limitação de canais, os sensores instalados no selim (banco) e no guidão medem as vibrações nos três eixos, já, no eixo dianteiro, são analisados apenas os eixos y e z .

Figura 4 - Sistema de medição empregado na avaliação das bicicletas



Fonte: Os autores (2019).

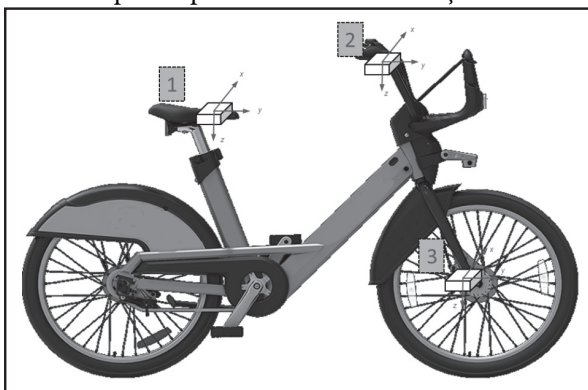
Para gerar os dados de entrada, utilizam-se os três acelerômetros transdutores de três eixos, localizados no guidão, selim e garfo da roda dianteira das bicicletas estudadas. A saída do sensor retorna sinais elétricos proporcionais à aceleração mecânica, gerada nos pontos medidos, de forma que as excitações mecânicas, detectadas pelos acelerômetros, possam ser adquiridas e analisadas, a partir de uma placa de aquisição de dados. Posicionaram-se os acelerômetros de forma que os cabos que ligam os sensores à placa de aquisição fiquem rentes às superfícies medidas, para que não ocorram interferências de impacto dos cabos na obtenção dos dados. Para VMB, coloca-se um acelerômetro no guidão, próximo à mão do condutor, de acordo com a norma ISO 5349/2001 (INTERNACIONAL ORGANIZATION

FOR STANDARDIZATION, 2001b), no selim, o acelerômetro é posicionado, de forma a ficar alinhado com a coluna do condutor, conforme a norma ISO 2631-1/1997 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997). Para a medição da transmissibilidade de vibração, posicionou-se um acelerômetro no garfo da roda dianteira, conforme indicado na figura 5. A orientação dos eixos dos acelerômetros foi modificada em *software*, após a aquisição dos dados, para que ficassem de acordo com o especificado pelas respectivas normas.

Para proceder à aquisição dos dados, exigidos para a análise, é preciso configurar os acelerômetros, para que seja possível interpretar de forma correta as excitações sofridas pelos pontos medidos. Assim, os acelerômetros foram previamente calibrados em

laboratório, para as faixas de amplitude e frequência, para os quais permitem medir: 0 a 1000 Hz, para $\pm 3g$, para eixos y e z , e 0 a 500 Hz, para $\pm 3g$, para o eixo x , local do acelerômetro (FAGUNDES; GOMES, 2017). Após a calibração dos sensores, procedeu-se oito medições, para um trajeto pré-definido de ida e volta com a bicicleta, sendo por pessoa e para cada modelo de bicicleta. Foi utilizado um *notebook*, equipado com o *software* MATLAB®, responsável pelo processamento de dados e pela construção de gráficos, para análise dos níveis de vibrações.

Figura 5 - Disposição dos acelerômetros para o procedimento de medição



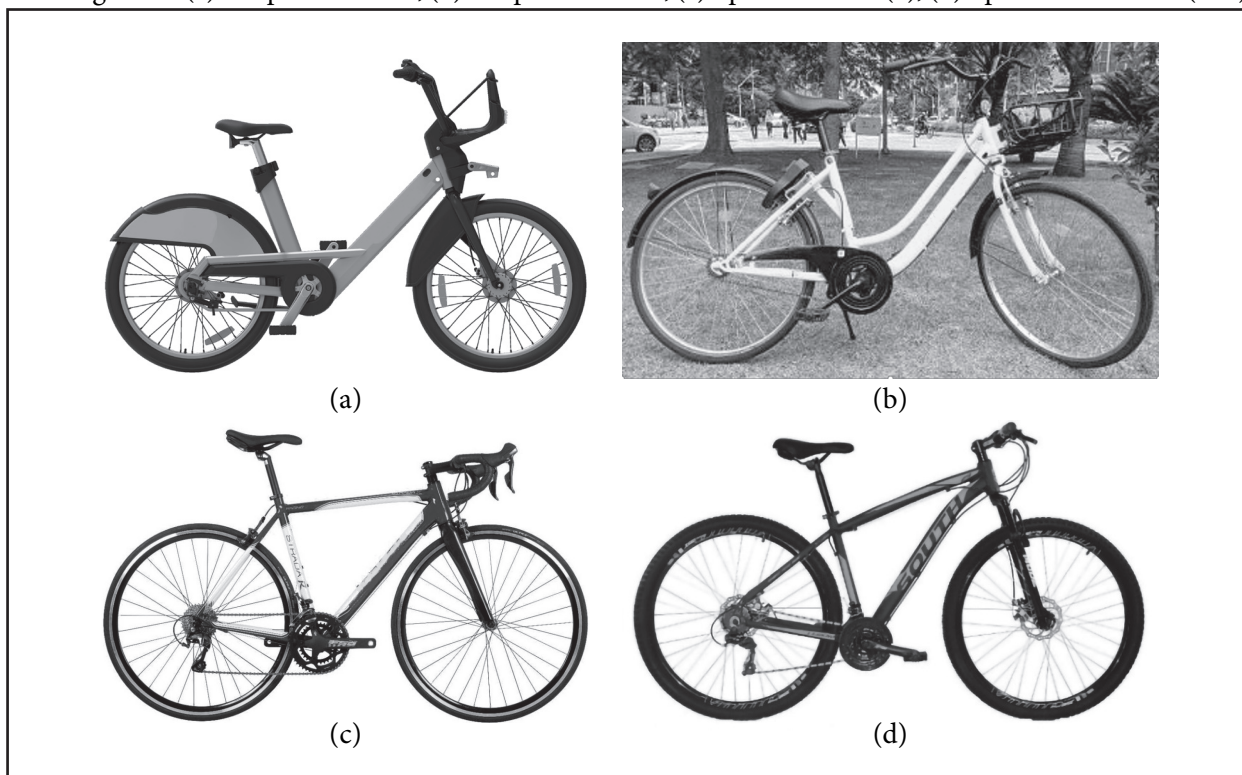
Fonte: Os autores (2019).

4.1 Modelos de bicicletas utilizadas

Os modelos de bicicletas analisados para este artigo foram quatro (4), conforme indicadas na figura 6, sendo elas: (i) bicicleta do tipo *mountain bike* com amortecedores dianteiros (MB); (ii) bicicleta do tipo de corrida (S), além das utilizadas, através dos serviços de aplicativo; (iii) AP1 e (iv) AP2.

A contratação dos sistemas de compartilhamento desses tipos de veículos dá-se por meio de pagamento de planos, via cartão de crédito, no caso da bicicleta AP1 ou pela compra de saldo, no próprio aplicativo, como no caso da bicicleta AP2. Os pneus da bicicleta AP2 são maciços, enquanto que das outras bicicletas são pressurizados com ar. A bicicleta S possui pneu com pressão interna de 90 psi (0,62 MPa), sendo bem mais duros que os outros. Em relação ao sistema de amortecimento das bicicletas, têm-se as seguintes configurações: o modelo MB possui amortecimentos na suspensão dianteira e no selim, as bicicletas dos aplicativos AP2 e AP1 possuem apenas no selim (molas), já o modelo S não possui sistema de amortecimento (apenas um leve acolchoado dos bancos em espuma).

Figura 6 - (a) de aplicativo AP1; (b) de aplicativo AP2; (c) tipo de corrida (S); (d) tipo *Mountain bike* (MB)



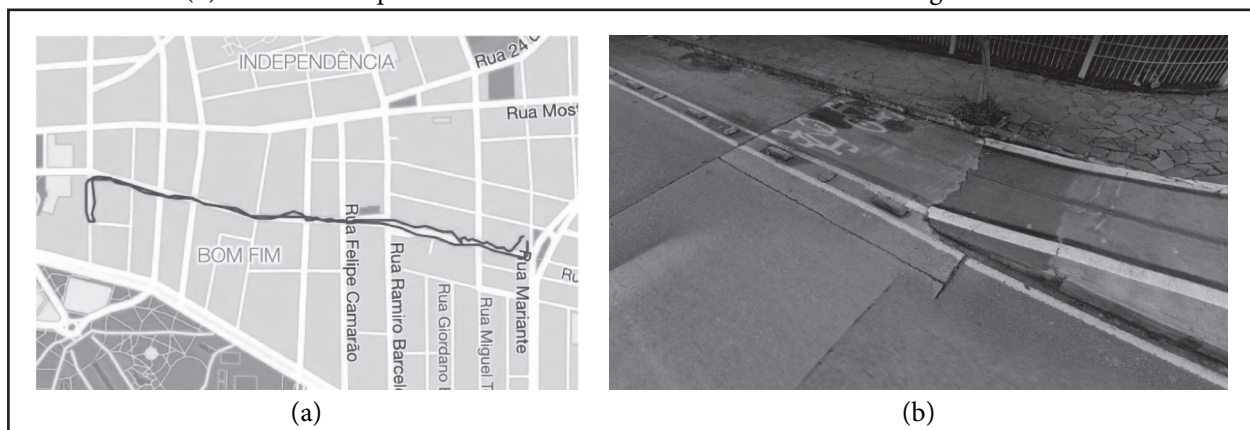
Fonte: Os autores (2019).

4.2 Trajeto, tipo de piso e usuários

O trajeto representativo escolhido foi uma ciclo-faixa, amplamente utilizada na cidade de Porto Alegre/RS, a fim de representar fielmente os valores de acelerações/vibrações em um trecho destinado à

prática exclusiva de ciclismo de rua. O trajeto completo é de aproximadamente 3 km e foi realizado em uma velocidade média de 15 km/h, em um tempo médio de percurso de 15 minutos. A figura 7 indica o trajeto de ciclovia escolhido.

Figura 7 - (a) Trajeto onde foram realizadas as medições;
(b) Pavimentos típicos das ciclovias em asfalto com rachaduras e alguns buracos



Fonte: Google Maps (2020); Strava (2019).

O tipo de piso encontrado nesse trajeto é, basicamente, composto por asfalto novo e asfalto desgastado com rachaduras, algo usualmente encontrado para as ciclovias de uso diário. O percurso é registrado, através de um smartphone equipado com o aplicativo STRAVA®, sendo possível também obter dados referentes ao tempo de trajeto via GPS, velocidade média e distância percorrida. No total, foram oito (8) medições, sendo quatro (4) tipos de bicicletas e dois ciclistas diferentes. As medições foram simultâneas em três (3) pontos, em cada bicicleta (banco, guidão e garfo), medidos em três (3) eixos, para os dois primeiros pontos e em duas (2) direções, para o garfo.

As quatro bicicletas analisadas foram compartilhadas com dois usuários com massa corporal diferentes: o primeiro deles, identificado como usuário A, com 75 kg e, o segundo, identificado como usuário B, com 45 kg, o IMC (Índice de Massa Corporal) de cada um deles foi de $IMC_A = 24,8$, $IMC_B = 19,7$ respectivamente. Esses são valores para pessoas com IMC comuns, classificados como de “baixo peso” e o outro com “peso normal”.

Sinais típicos, para aceleração em cada um dos pontos medidos e direções analisadas, são mostrados na figura 8. Percebe-se claramente os instantes em que o usuário freia a bicicleta, em função dos semáforos e esquinas, assim como, o momento em que é realizado o retorno do trajeto estipulado.

5 Resultados

5.1 Avaliação dos riscos à saúde

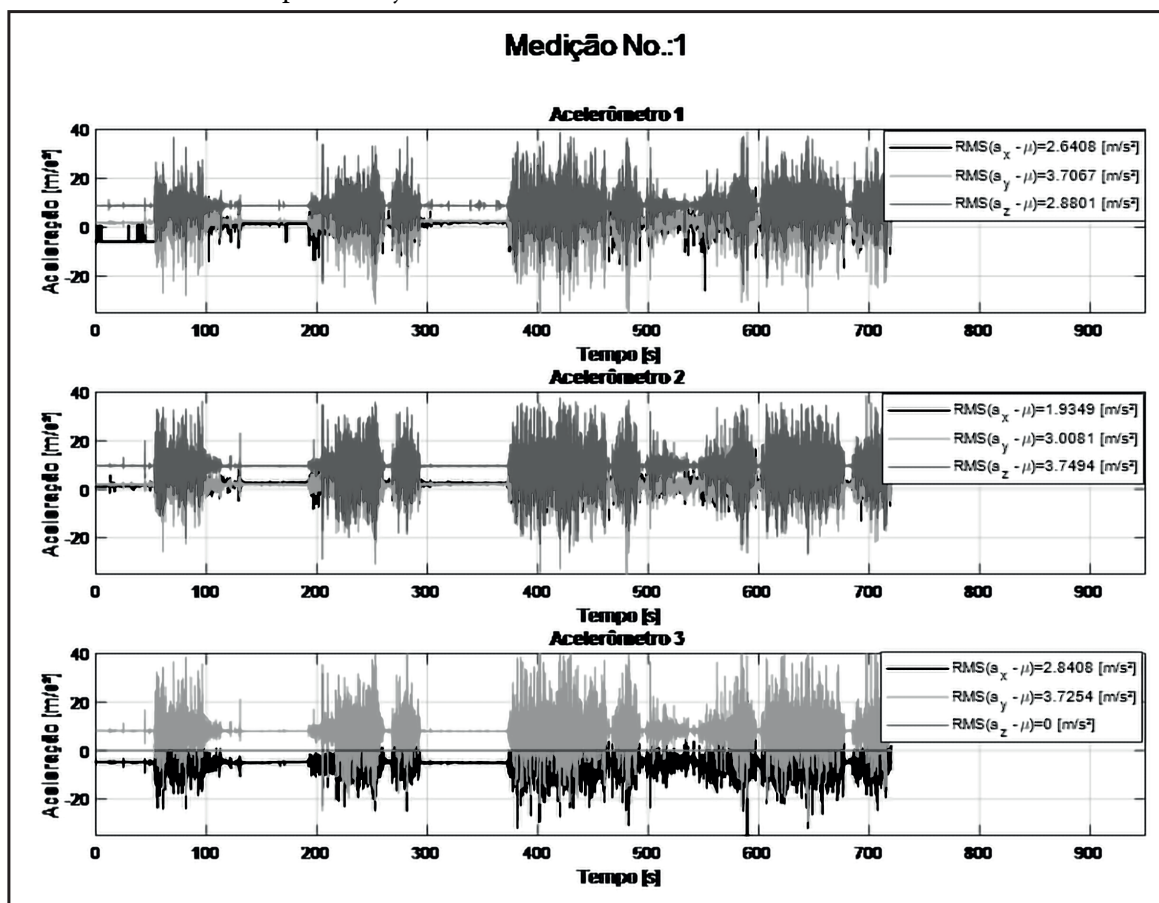
Ao realizar as medições das vibrações nos quatro (4) modelos de bicicletas estudados e, extrapolando-se os valores de aceleração para uma jornada de 8 horas, é possível avaliar as condições de risco à saúde para usuários frequentes, tanto para VCI quanto para VMB, em cada condição avaliada. As figuras 9 e 10 mostram os valores combinados (a_{ve} para 8h) das acelerações RMS, observados para cada bicicleta e para cada usuário (usuário A identificado pela cor azul e usuário B pela cor vermelha), bem como o limite de exposição, indicado pela linha amarela em cada gráfico, para VCI e VMB, respectivamente. Esses valores são baseados na Norma ISO 2631-1/1997 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997) para VCI e na Norma ISO 5349-1/2001 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001b), para VMB.

Percebe-se que, ao avaliar a vibração no assento, todos os modelos de bicicletas, utilizados no experimento, se usadas como forma de trabalho e nas condições do trajeto avaliado (principalmente asfalto), estão em condições de insalubridade, independentemente do usuário, visto que os valores observados para as acelerações ultrapassam o limite de exposição

diário para 8h. Nota-se também que as medições do usuário A resultam em maiores níveis de vibrações para o assento de todas as bicicletas, sendo a bicicleta S, a que apresentou a maior diferença entre valores da aceleração, marcando 2,695 m/s², para o usuário A,

e 1,944 m/s², para o B. Já na avaliação da vibração no guidão, é possível notar que a única bicicleta que se manteve abaixo do limite de exposição, para os dois usuários, foi a bicicleta S, com valores de aceleração de 3,76 m/s², para o usuário A, e 3,534 m/s², para o B.

Figura 8 - Típicos sinais de medição, em cada um dos três (3) acelerômetros, para o trajeto realizado com usuário A, na bicicleta S



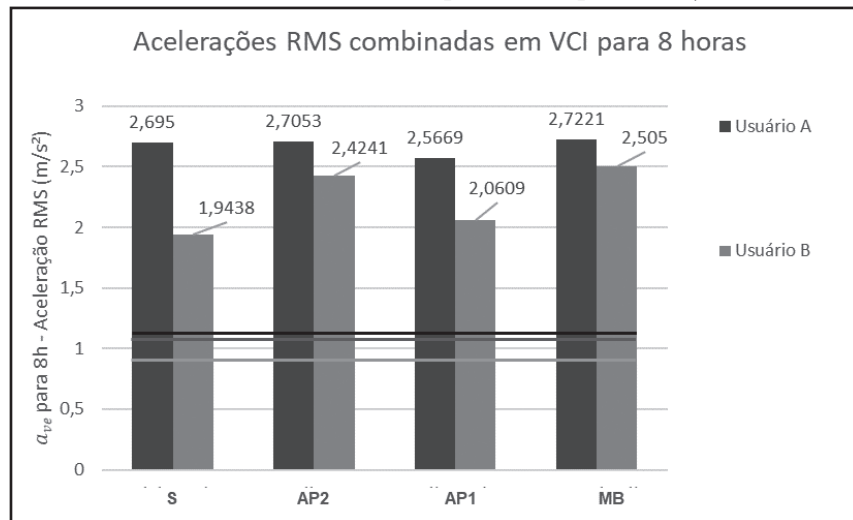
Fonte: Os autores (2019).

As bicicletas dos aplicativos AP2 e AP1 tiveram o valor de exposição diária excedido para o usuário A e, para o usuário B, a exposição ficou dentro do limite de ação, porém os níveis de aceleração, observados para os dois usuários na bicicleta do aplicativo AP1 foi de 5,013 m/s², para o usuário A, e 4,432 m/s², para o B, foram menores que as do aplicativo AP2. Já para o modelo MB, o valor de exposição foi excedido pelo usuário B, marcando uma aceleração de 5,614 m/s² e se manteve dentro do limite de ação para o usuário A, com uma aceleração de 4,629 m/s², sendo esse o único caso, dentre as medições realizadas, em que a aceleração da bicicleta, conduzida pelo usuário B, foi maior do que a do usuário A.

5.2 Avaliação quanto ao conforto

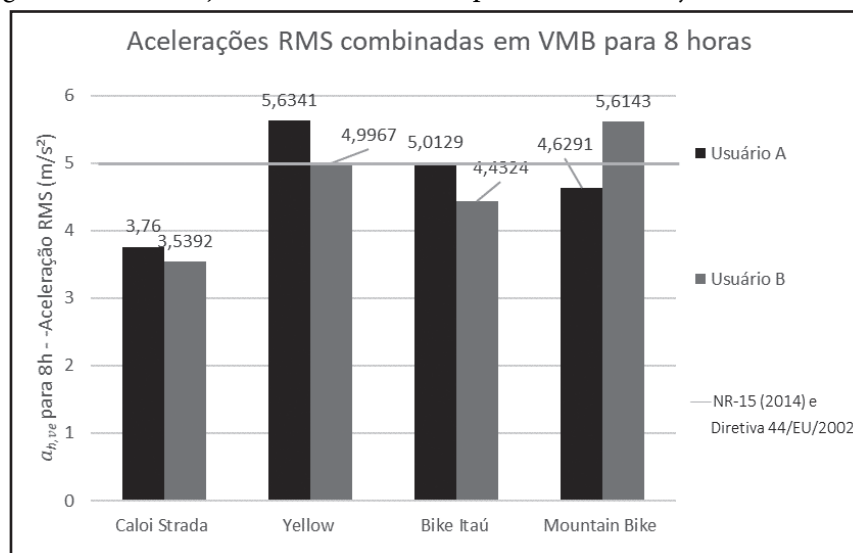
Para a avaliação do conforto para VCI, analisam-se as acelerações sem a utilização das curvas de ponderação. Considerando os critérios da Norma ISO 2631-1/1997, todas as bicicletas tiveram um mau desempenho em suas classificações de grau de conforto, ficando entre “muito desconfortável” e “de muito a extremamente desconfortável”. A bicicleta do aplicativo AP1 foi o modelo que obteve a melhor avaliação de conforto em relação às demais, para os dois usuários A e B, obtendo para ambos a classificação “muito desconfortável”. A classificação, quanto ao conforto para VCI e os valores de aceleração RMS medidos, é indicado na tabela 2.

Figura 9 - Acelerações RMS combinadas para VCI e para uma jornada de 8 horas



Fonte: Os autores (2019).

Figura 10 - Acelerações RMS combinadas para VMB e uma jornada de 8 horas



Fonte: Os autores (2019).

Tabela 2 - Classificação das bicicletas quanto ao conforto, segundo a ISO 2631-1(1997)

Bicicleta	Usuário	a_v (m/s^2)	Classificação Conforto para VCI
Bicicleta AP1	A	2,23	Muito desconfortável
	B	1,97	Muito desconfortável
Bicicleta AP2	A	2,49	Muito a extremamente desconfortável
	B	2,33	Muito a extremamente desconfortável
Bicicleta S	A	2,39	Muito a extremamente desconfortável
	B	1,79	Muito desconfortável
Bicicleta MB	A	2,41	Muito a extremamente desconfortável
	B	2,39	Muito a extremamente desconfortável

Fonte: Os autores (2019).

Por não possuir nenhum sistema de amortecimento no eixo dianteiro ou no assento, espera-se que os piores resultados para conforto sejam os da bicicleta S, porém as bicicletas que têm maiores valores para as acelerações são as do aplicativo AP2 a do modelo MB, ambas recebendo a classificação “muito a extremamente desconfortável” para os dois usuários. Ademais, para o usuário B, a bicicleta S é a que mais se aproximou da classificação “desconfortável”. Segundo a tabela 1, tal caso apresenta acelerações de 1 m/s^2 a $1,6 \text{ m/s}^2$, portando, sendo o modelo mais confortável para o usuário B, na análise do conforto para VCI.

Com exceção do modelo S, todos os outros modelos possuem algum tipo de amortecimento no assento. Os modelos de bicicletas de serviços de aplicativo possuem uma estrutura simples, com boa regulagem do selim. A bicicleta do aplicativo AP2 possui pneus maciços, que não funcionam como amortecedores, enquanto a bicicleta do aplicativo AP1 possui pneus com câmara e, com isso, amortecem melhor as vibrações.

Para avaliar o conforto, para vibração do sistema mão-braço, analisam-se as acelerações filtradas pela curva de ponderação W_h . Considerando os critérios da Norma ISO 5349-1/2001 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001b), todas as bicicletas ficam na mesma faixa para os trajetos realizados pelos dois usuários. A classificação, quanto ao conforto, para todas as situações

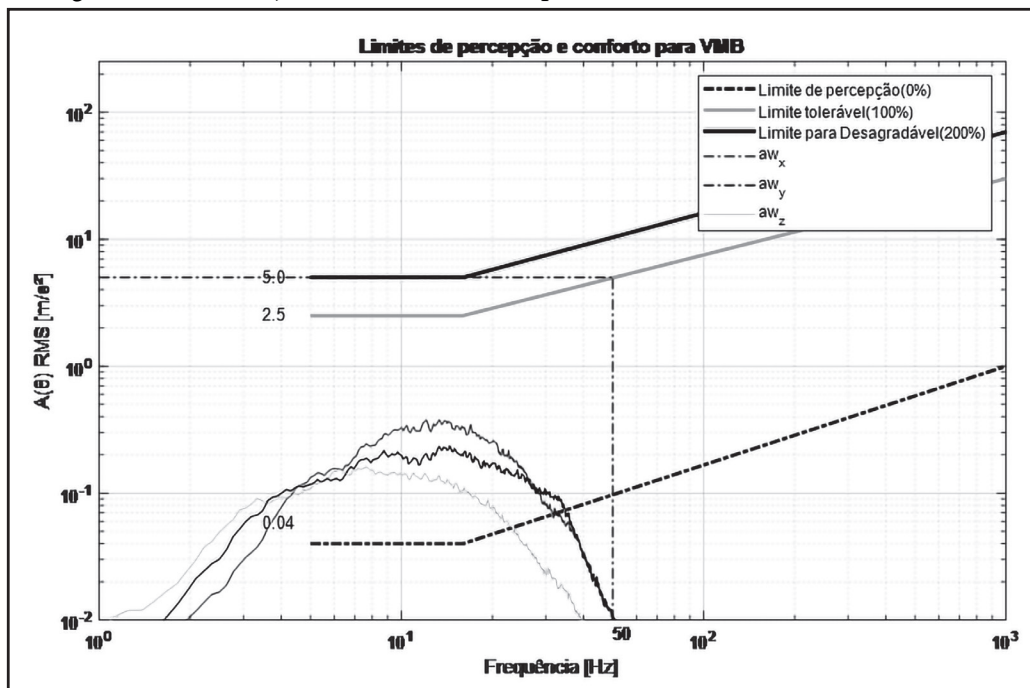
estudadas é “levemente acima do perceptível, mas abaixo do tolerável”, sendo assim, sem problemas, em relação ao conforto, para o sistema mão e braço. A figura 11 exemplifica uma das medições para o conforto em VMB, para bicicleta S, onde a linha preta e tracejada indica o limite de percepção, a linha verde indica o limite tolerável e a vermelha, o limite de exposição em função da frequência.

5.3 Avaliação da transmissibilidade de vibração

Através dos dados obtidos, referentes às acelerações no garfo, próximo ao eixo dianteiro, é possível analisar a transmissibilidade de vibração tanto para pneu-assento das bicicletas quanto para o pneu-guião. Com isso, é viável analisar a ocorrência de amplificação ou atenuação da vibração nas partes das estruturas da bicicleta, ou mesmo a igualdade entre os sinais de entrada e de saída para esses pontos. Sendo assim, consegue-se avaliar a eficiência do funcionamento dos sistemas de amortecimento, tanto no garfo próximo ao eixo dianteiro quanto do assento.

A bicicleta modelo S não possui nenhum sistema de amortecimento (apenas uma fina camada de espuma do banco), já os outros modelos possuem amortecimento nos assentos (molas). Além disso, a bicicleta MB é equipada com amortecedores no garfo dianteiro.

Figura 11 - Acelerações RMS combinadas para VMB e conforto, ISO 5349-1/2001

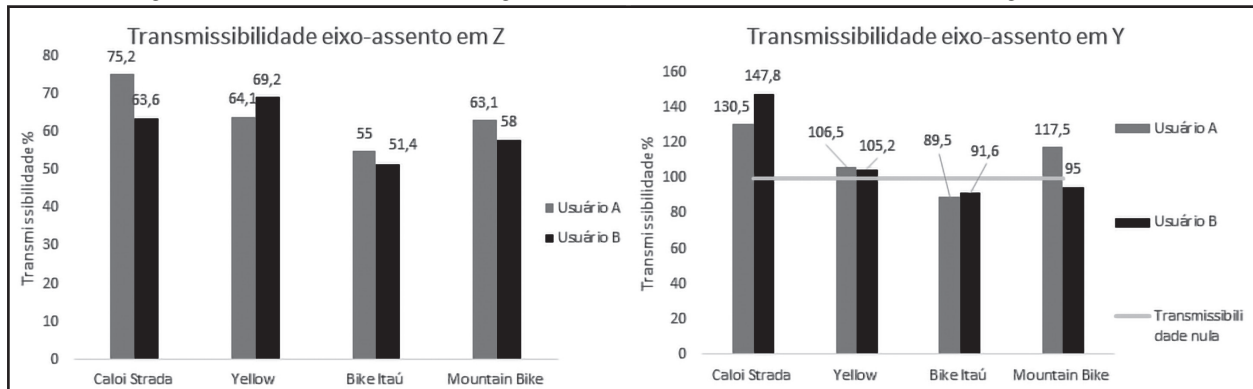


Fonte: Os autores (2019).

A figura 12 mostra os resultados para a transmissibilidade entre garfo dianteiro e assento (para eixo z, todos valores abaixo de 100%), e a figura 13 mostra os resultados para a transmissibilidade entre o garfo

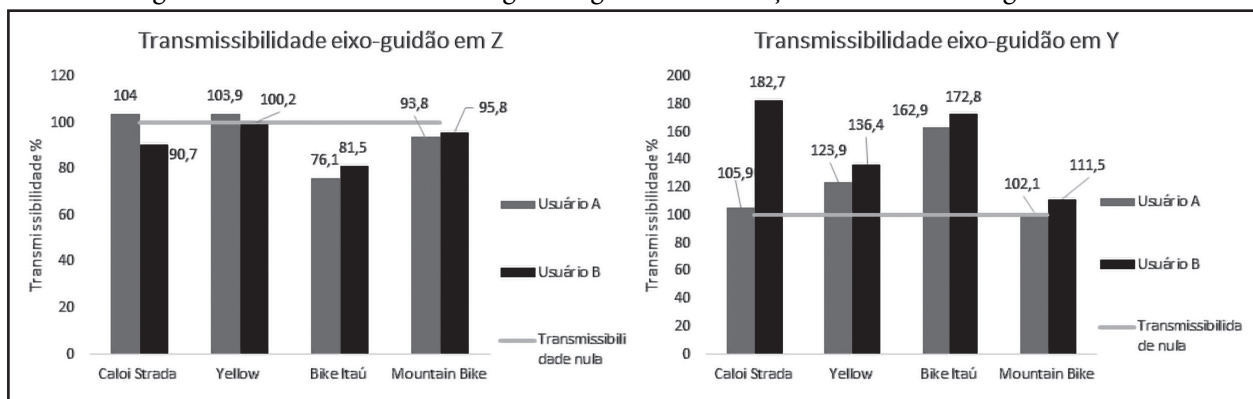
dianteiro e guidão. O usuário A está identificado pela cor azul, o usuário B, pela cor vermelha, e a linha amarela mostra o ponto de transmissibilidade unitária (onde não há amplificação nem atenuação).

Figura 12 - Transmissibilidades garfo x assento nas direções vertical Z e longitudinal Y



Fonte: Os autores (2019).

Figura 13 - Transmissibilidades garfo x guidão nas direções vertical Z e longitudinal Y



Fonte: Os autores (2019).

Percebe-se que, na avaliação da transmissibilidade do garfo, para o assento no eixo z, os amortecedores tiveram um bom resultado, em especial, o modelo do aplicativo AP1 que foi o modelo que melhor atenuou as vibrações, atenuando as vibrações em 45%, para o usuário A e, em 48,6%, para o B. Para o eixo y, a bicicleta do aplicativo AP2 teve uma pequena amplificação da vibração para os dois usuários. No modelo MB, a vibração foi amplificada para o usuário A e atenuada para o usuário B. Nota-se que a amplificação de vibração do modelo S foi alta, cerca de 30% para o usuário A e quase 50% para o usuário B. Isso se dá pelo fato dessa bicicleta não possuir nenhum sistema de amortecimento.

No estudo da transmissibilidade entre o eixo dianteiro e guidão, a maioria dos modelos tiveram uma atenuação nos níveis de vibração no eixo z, com

exceção do modelo S, para o usuário A e, do modelo do aplicativo AP2, que apresentou uma amplificação baixa, para os dois usuários. Avaliando a transmissibilidade no eixo y, nota-se que, apesar da ocorrência de amplificação da vibração para todos os modelos, o modelo que teve uma menor amplificação para os dois usuários foi o modelo MB, pelo fato de possuir amortecedores no eixo dianteiro, amplificando apenas em 2,1% para o usuário A e 11,5% para o usuário B, que possui massa corporal mais baixa, o que atenua menos as vibrações. Vale destacar que no circuito realizado pelo usuário B, utilizando a bicicleta modelo S, ocorreram frenagens mais bruscas, pela dificuldade de o usuário conduzir esse modelo, devido à altura do quadro, resultando em uma transmissibilidade de 82,7%.

6 Considerações finais

Este artigo mediu os níveis de vibração em quatro modelos de bicicletas, sob as mesmas condições de pista e conduzidas por dois usuários diferentes. As medições foram feitas com três acelerômetros tri-axiais e avaliadas para uma jornada de 8 horas, de acordo com as Normas ISO 2631-1/1997 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997) e ISO 5349-1/2001 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001b).

Na análise de transmissibilidade entre eixo dianteiro e assento, percebe-se que as molas/amortecedores, localizados na parte debaixo do selim, conseguem atenuar em pelo menos 30% os níveis de vibração no eixo z, chegando a quase 50%, como no caso da bicicleta do aplicativo AP1. Para a mesma análise, para o assento no eixo y, o único modelo que teve atenuação de vibração, para os dois usuários, foi a do aplicativo AP1, atenuando em 10,5% as vibrações para o usuário A e, em 8,4%, para o usuário B, enquanto que, para o modelo MB, ocorreu uma amplificação para o usuário A. Apesar da verificação do bom funcionamento dos amortecedores atuantes no eixo z, verifica-se que para todos os modelos estudados, independentemente do usuário que esteve guiando, os níveis de vibração, obtidos no assento, para a análise de VCI, foram elevados, caracterizando uma condição de uso insalubre, no caso de uso intensivo como meio de trabalho.

A transmissibilidade entre eixo dianteiro e guidão no eixo z teve resultados de leve atenuação para os dois usuários no modelo MB, devido ao sistema de amortecimento no eixo dianteiro que essa bicicleta possui. Observou-se, para os dois usuários, uma atenuação de cerca de 20% da vibração para o modelo do aplicativo AP1. Para o modelo S, que não possui nenhum sistema de amortecimento, foram registradas leves amplificações vibratórias, para o usuário A e uma atenuação, para o usuário B. Para o eixo y, todos os modelos tiveram amplificação da vibração, independentemente do usuário. Em relação à avaliação da exposição de vibração para VMB, o modelo S foi o único que se manteve abaixo do limite de exposição diário para os dois usuários, com acelerações de $3,76 \text{ m/s}^2$ para o usuário A e de $3,54 \text{ m/s}^2$ para o usuário B, contrariando as expectativas, visto que esse modelo não possui sistemas de amortecimento. Os modelos dos aplicativos AP2 e AP1 ficam acima do limite de exposição para o usuário A e, abaixo, para o usuário B, registrando-se níveis de vibração maiores para o aplicativo AP2, devido ao fato dos pneus desse modelo

serem maciços e não amortecerem bem as excitações. No modelo MB, registrou-se que a condução do usuário A ficou abaixo do limite de exposição e, para o usuário B, ficou acima do limite.

Avaliando-se as condições de conforto para VCI, é constatado que nenhuma das bicicletas está em boas condições de conforto. A bicicleta do aplicativo AP1 recebeu a melhor avaliação para os dois usuários, sendo classificada como “muito desconfortável”. A bicicleta S foi a que mais se aproximou da classificação “desconfortável” para o usuário B, mas, ainda assim, seria uma classificação ruim, quanto a conforto. Para VMB, todos os modelos ficaram abaixo do tolerável, portanto, não há problemas de conforto para o sistema mão-braço. A especificidade de uso adequado da bicicleta (para competição, terrenos acidentados ou urbano) foi o que se tornou mais relevante do que a qualidade do modelo de bicicleta, particularmente, o tipo de pneu e sua pressão parece ter um papel mais importante no nível de vibração desenvolvido.

Diante da situação de insalubridade e conforto, evidenciados por este experimento, para o uso de bicicletas e pelo aumento do uso de bicicletas, para atividade laboral, é incentivado um estudo mais aprofundado, para que sejam verificados diversos tipos de piso e de modelos de bicicletas, com o propósito de normatizar e regulamentar as condições dos profissionais que utilizam esse transporte, como meio de trabalho. Propõe-se, então, para os futuros usuários, procurar sempre uma bicicleta leve, com amortecimento nos eixos dianteiro e traseiro, com design específico para o seu propósito (cidade, estrada ou montanha) e com tamanho adequado para a sua estatura.

Referências

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. 2019.

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

CHAFFIN, D. B.; ANDERSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. **Occupational biomechanics**. 3th ed. New Jersey: Wiley-Blackwell, 1999. 600 p.

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

FAGUNDES, J. S.; GOMES, H. M. Evaluation of the

floor-seat transmissibility (SEAT) in riding vehicles and verification of vibration levels regarding health and comfort in WBV. *In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING*, 24., 2017, Curitiba. **Proceedings [...]**. Rio de Janeiro: ABCM, 2017. v. 1, p. 1-8.

FUNDACENTRO. **Normas de higiene ocupacional - NHO 09**: procedimento técnico: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro. 2013a. 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. 2019.

FUNDACENTRO. **Normas de higiene ocupacional - NHO 010**: procedimento técnico: avaliação da exposição ocupacional a vibração em mãos e braços. 2013b. 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. 2019.

G1 ECONOMIA. **Desemprego recua para 12,5% em abril, mas ainda atinge 13,2 milhões de brasileiros**. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/05/31/desemprego-recua-para-125percent-em-abril-diz-ibge.ghtml>. Acesso em: 9 jun. 2019.

GEORGE, R. **Dynamic ride comfort & measuring vibration in bicycles**. 2009. Disponível em: <http://cozybeehive.blogspot.com/2009/08/dynamic-ride-comfort-measuring.html>. Acesso em: 9 jun. 2019.

GOMES, H. M.; SAVIONEK, D. Measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to hand-arm system during leisure cyclist activity. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 30, n. 4, p. 291-300, 2014. DOI: 10.1590/1517-3151.0546.

GOOGLE MAPS. **Rua Vasco da Gama, Porto Alegre, RS, Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-30.033219,-51.2102433,16z>. Acesso em: 1º ago. 2020.

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

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

HASTINGS, A. Z. *et al.* **Measuring the effect of transmitted road vibration on cycling performance**. Cambridge: Center for Sports Innovation: Massachusetts Institute of Technology, 2010.

HOLZEL, C.; HOCHTL, F.; SENNER, V. Cycling comfort on different road surfaces. **Procedia Engineering**, v. 34, p. 479-484, 2012. DOI:10.1016/j.proeng.2012.04.082.

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

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. Geneve, 2001a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5349-1:2001**: mechanical vibration: measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration: part 1: general requirements. Geneve, 2001b.

LEBLANC, J. P. P. *et al.* Effect of structural damping on vibrations transmitted to road cyclists. *In: IMAC - A CONFERENCE AND EXPOSITION ON STRUCTURAL DYNAMICS*, 32., 2014. **Proceedings [...]**. Bethel: Society for Experimental Mechanics, 2014. v. 7.

LÉPINE, J.; CHAMPOUX, Y.; DROUET, J. M. Influence of test conditions on comfort ranking of road bicycle wheels. *In: IMAC - A CONFERENCE AND EXPOSITION ON STRUCTURAL DYNAMICS*, 31., 2013. **Proceedings [...]**. Bethel: Society for Experimental Mechanics, 2013. v. 6.

LÉPINE, J.; CHAMPOUX, Y.; DROUET, J. M. Road bike comfort: on the measurement of vibrations induced to cyclist. **Sports Engineering**, v. 17, n. 2, p. 113-122, 2014. DOI:10.1007/s12283-013-0145-8.

MACDERMID, P. W.; FINK, P. W.; STANNARD, S. R. The effects of vibrations experienced during road vs. off-road cycling. **International Journal of Sports Medicine**, v. 10, n. 36, p. 783-788, 2015. DOI: 10.1055/s-0034-1398534.

MERCADO & CONSUMO. **Delivery de alimentos**

crece e movimenta R\$ 10 bilhões. 2018. Disponível em: <https://www.mercadoeconsumo.com.br/2018/12/04/delivery-de-alimentos-crece-e-movimenta-r-10-bilhoes/>. Acesso em: 9 jun. 2019.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **Ergonomics: the study of work.** 2019. Disponível em: <https://www.oshatrain.org/courses/pdf/OSHAErgonomics.pdf>. 2000. Acesso em: 9 jun. 2019.

STARTSE. **Startups de patinetes elétricos são realmente um negócio sustentável?** 2018. Disponível em: <https://www.startse.com/noticia/startups/startups-de-patinetes-eletricos-sao-realmente-negocio-sustentavel>. Acesso em: 1º nov. 2020.

STRAVA. **Strava: correr, pedalar e monitorar o treinamento: aplicativo Android.** 2019. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.strava&hl=pt_BR&gl=US. Acesso em: 1º nov. 2019.