

Medição de exposição a vibrações para VCI e VMB em usuários de motocicletas

Rafael André Schio¹
Herbert Martins Gomes²

Resumo

Motocicletas são um importante meio de transporte, e o seu uso, como ferramenta de trabalho, é crescente. Um dos fatores preocupantes é a vibração a que o usuário está exposto e que pode gerar desconforto ou agravos à saúde. Há poucos estudos que avaliam os níveis de vibração, e este artigo propõe a medição desses níveis, em diversos modelos de motos, sob mesmas condições de uso. Como resultados do estudo, todas as motos estudadas, alcançaram níveis elevados de vibração que as classificam, de acordo com as referências específicas, como desconfortáveis. Referente ao risco à saúde, em condições de VCI (Vibração de Corpo Inteiro) e VMB (Vibração do sistema Mão Braço), os resultados indicam níveis elevados de 1,51 a 1,77 m/s² e de 7,14 a 9,38 m/s², em valores *rms*, respectivamente. Esses valores ultrapassam os limites estabelecidos em normas brasileiras e sugerem condições insalubres aos motoqueiros, como meio de trabalho.

Palavras-chave: Vibração do sistema Mão Braço (VMB). Vibração de Corpo Inteiro (VCI). Motocicletas.

Abstract

Motorcycles are important means of transport and their use, as a working tool, is increasing. One of the concerning factors is the vibration the user is exposed and that may cause discomfort or health problems. There are few studies that evaluate the vibration levels and this work proposes measuring these levels in different kinds of bikes under the same conditions of use. As the study results, all the analyzed motorcycles present high acceleration levels that classify the vibration exposure as uncomfortable, according to specific standards. Related to the health effects, in WBV conditions (Whole Body Vibration) and HAV (Hand Arm Vibration), the results show high levels of vibration, varying from 1.51 to 1.77 m/s² and 7.14 to 9.38 m/s² in rms weighted acceleration values, respectively. These values exceed the limits specified by Brazilian standards and suggest unsanitary conditions to the motorcycle riders, as a way of work.

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

¹ Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: rafaschio@gmail.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) na UFRGS. E-mail: herbert@mecanica.ufrgs.br

1 Introdução

Motocicletas são importantes meios de transporte nacional. Isso se comprova ao constatar o dado de que elas já compõem um quarto da frota de veículos automotores brasileira. Em grandes centros urbanos, o uso de motocicletas tornou-se fundamental por sua economia e agilidade em condições de tráfego congestionado. Esses fatores não são favoráveis a determinadas profissões, especialmente aquelas que estão diretamente ligadas ao uso de motocicletas como: moto taxistas, motoboys, carteiros, entregadores, seguranças privados e policiais. Aliado ao grande número de carros, a circulação desse significativo volume de motos tem sido notícia frequente, quanto aos acidentes e é preocupação das administrações de grandes cidades (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016).

Há, porém, para os motoristas de motocicletas, outros agravos à saúde, além dos decorrentes de acidentes. Em função do uso desse tipo de veículo, os motociclistas estão sujeitos a fatores de risco como ruído elevado, variações térmicas, vibração, inalação de poeira, fuligem, gases e vapores. A vibração, a que seus ocupantes estão sujeitos, provém, principalmente, das vias em que trafegam, assim como da propulsão do motor, que se encontra próxima ao condutor. Os profissionais supracitados apresentam, frequentemente, queixas sobre fadiga, dormência nas mãos, dor nas costas e coluna e ardência nos olhos. Eventualmente, tais sintomas podem evoluir para a síndrome do túnel do carpo (punhos), tenossinovite de cotovelo e até mesmo tendinite de supra espinhal (GRIFFIN, 1990). Considerando a numerosa frota brasileira e a falta de estudos semelhantes publicados no país, pretende-se com esta pesquisa, lançar dados específicos sobre o nível de vibração nesses veículos, trazendo informações relevantes sobre conforto, assim como a possibilidade de se ter condições insalubres quanto à vibração (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

TÉCNICAS, 2014b) para profissionais que usam esse veículo como meio de trabalho.

Porém, pouca informação a respeito dos níveis de vibração a que estão sujeitos seus utilizadores, quer seja a lazer, quer seja a trabalho, é difundida. No Brasil, não há estudos relacionados a motocicletas, a respeito disso. A literatura mundial indica um crescente interesse em avaliar esses valores, assim como verificar situações em que são relatadas doenças ocupacionais graves, relativas ao uso desse tipo de veículo (MENON; INSALL; IGNOTUS, 1997). A edição recente de uma revisão da Norma regulamentadora (NR-15) e da Normas de Higiene Ocupacional (NHO-09, NHO-10) mostra a necessidade de se verificar a condição de insalubridade, quanto a níveis limite de vibração especificados, em trabalhadores que usam a motocicleta. O presente trabalho irá avaliar, através de um Estudo de Caso, os níveis de vibração (VCI, Vibração de Corpo Inteiro e VMB, Vibração do Sistema Mão-braço) em motocicletas e analisar seu conforto e a ocorrência de condições insalubres, conforme norma NR-15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014b), assim como o tempo de máxima exposição, segundo os níveis de vibrações recomendados na referida norma, em usuários e trabalhadores que, hoje, exercem atividades dependentes desse meio de transporte.

2 Revisão bibliográfica

Como citado por Schio (2016), já em 1986, Yokomori, Nakagawa e Matsumoto (1986), estavam preocupados com os níveis de vibração sofridos por motociclistas e realizavam um estudo para verificar o efeito da vibração na direção de motos para diferentes tipos de pistas. Foi medida a vibração, sob condição de asfalto não pavimentado e sob neve compactada. A motocicleta usada foi de uso diário, no Japão, de 89 cc e 4 cilindros. Os limites da norma ISO foram excedidos, principalmente, na faixa de frequência de operação da motocicleta, quando acelerada. Tal vibração

era proveniente, basicamente, da transmissão da pista para o garfo dianteiro e para a direção.

Interessante estudo, feito por Mattioli *et al.* (2011), revelou o caso de uma entregadora de cartas que usou uma moto de baixa potência por 15 anos e, ao final, constatou tendinite crônica e Síndrome do túnel carpal bilateral, atribuídas ao trabalho executado. Em média, a paciente conduziu sua moto por 4h diárias, levando uma carga de 20 a 30 kg, todos os dias e, por diversos tipos de terreno, na Itália. Os autores sugerem que há uma relação entre o aparecimento das doenças e a exposição, devido ao trabalho da paciente, partindo de medições feitas em guidom de moto semelhante e reconstruindo a vibração recebida por 8 h equivalentes, chegando a uma magnitude de $2,4 \text{ m/s}^2$.

Na mesma linha de pesquisa, o artigo de Mirbod *et al.* (1997), apresenta um estudo sobre a avaliação dos sintomas sentidos por 119 policiais de tráfego masculinos e 49 femininos, no Japão, avaliando e medindo o nível de vibração a que estavam submetidos, ao dirigir motocicletas. Foram reportadas as ocorrências de 4,2% da doença dos dedos brancos, 19% dormência dos dedos, 16% de rigidez dos dedos, 13,4% de dores no ombro e 45,4% de rigidez no ombro. Os níveis de aceleração *rms* (*root mean square*), equivalentes a 4 h e 8 h medidos, foram de $2,8$ a $4,5 \text{ m/s}^2$ e de $2,0$ a $3,2 \text{ m/s}^2$, respectivamente.

Estudos de modificações do guidom, para a atenuação da vibração, transmitida ao sistema mão-braço pelo desbalanceamento de motores, tem sido investigado por Agostini *et al.* (2009), com soluções alternativas de guidom com múltiplas massas sintonizadas. A avaliação de VCI, sofrida por motociclistas na sua fadiga, foi analisada por Troxel *et al.* (2015). A principal conclusão a que chega o estudo é de que a fadiga é um dos contribuintes principais para acidentes com fatalidades e colisões nos Estados Unidos da América e que, ligada a essa fadiga, está a vibração de corpo inteiro a que estão expostos os motoristas de carros e de motos em geral. A fadiga gerada por essa vibração excessiva gera,

segundo o artigo, sonolência e decréscimo da *performance* psicomotora, por exemplo, em motoristas de caminhão e moto. Vale ressaltar que, na literatura, poucos são os trabalhos que avaliam a VMB em motocicletas como no trabalho do Mirbod *et al.* (1997).

Uma análise, através de medidas experimentais e modelo numérico, acerca do desempenho de motos, ao passar por lombadas físicas na via e seu efeito de impacto na coluna dos motociclistas foi feita por Kiran, Omkar e Vadiraj (2014), em um modelo de 4 GDL. Acelerômetros colocados no assento e na coluna puderam avaliar a impedância mecânica e transmissibilidade do sistema moto-motociclista. Os dados teóricos ficaram muito próximos das medições experimentais, o que pode validar o modelo de 4 GDL para essa situação. Verificou-se que o corpo humano pode absorver acelerações da ordem de 7 m/s^2 e que há uma grande sensibilidade na faixa de frequências de 5 a 7 Hz.

Estudo feito por Milosavljevic *et al.* (2011), com quadriciclos usados por fazendeiros na Nova Zelândia, indica que os limites de aceleração da Diretiva 2002/44/EC (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002) são largamente excedidos, assim como a ultrapassagem do limite de vibração para impacto. O estudo indica que 57,7% dos usuários relataram dores nas costas, mesmo quando submetidos a somente 12 meses de trabalho nessas condições. Concluem que soluções de engenharia devam ser adotadas por esses trabalhadores/fazendeiros, a fim de mitigar as lesões a que estão expostos.

O trabalho de Menon, Insall e Ignotus (1997) faz o estudo de um caso de problema relacionado à isquemia digital, que é o dano causado pelo fechamento da artéria ulnar distal e que causa severo dano circulatório na palma da mão. O caso relatado foi de um jovem do sexo masculino, de 36 anos. Os autores sugeriram que a doença teria sido causada pela exposição excessiva de vibração nas mãos e da frequência, com que o jovem dirigia a sua motocicleta.

Moreno *et al.* (2011) investigam o uso de preditores de exposição à VCI em motociclistas na Colômbia, de acordo com a norma ISO-2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997). Em função das medições feitas, eles mostram que os motociclistas mais novos teriam 36,3% a mais de tempo de uso de motos que os antigos, antes que o tempo de exposição atingisse o valor de ação (que é de $0,5 \text{ m/s}^2$). Assim, concluem que motos com maior cilindrada ($>125 \text{ cc}$) permitem 22,5% mais tempo de uso que aquelas de menor cilindrada.

Um estudo feito em Taiwan por Chen, Liu e Chiang (2012), com 25 entregadores de correio que usam motos, mostra que, apenas um deles apresentou medições de Valor de Dose de Vibração (VDV) acima do limite de $17 \text{ m/s}^{1,75}$, indicando uma alta probabilidade de efeitos adversos à saúde desse entregador, seguindo as recomendações da ISO-2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997). Entretanto 13 dos 25 indivíduos apresentaram valores da tensão média na cervical, acima de $0,8 \text{ Mpa}$ o que, segundo a ISO-2631-5 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2004), aumenta as chances de problemas na coluna por vibrações de impacto.

Em recente trabalho de Chen e Pan (2013), avaliando 45 motociclistas em rotas urbanas médias de 20 km, o valor de dose de vibração, estimada para 8 horas de exposição, excedeu o limite de ação em 90 % dos casos (VDV de $17 \text{ m/s}^{1,75}$). Para o limite de tensão na cervical de $0,8 \text{ MPa}$, em apenas 3 horas, mais de 50 % dos motociclistas estudados teriam esse limite excedido. As maiores magnitudes de vibração e, portanto, riscos foram observados em motociclistas do sexo masculino (22 motociclistas) do que nos femininos (23 motociclistas), indicando um potencial risco àqueles usuários desse tipo de transporte na zona urbana.

Kumar, Saran e Guruguntla (2013) mediram o VDV para 6 motociclistas do sexo masculino, em diferentes perfis de pista,

diferentes velocidades e com caronas, passando sobre diversos tipos de redutores de velocidade. Seguiram a metodologia da ISO-2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997). Concluem que, ao aumentar a velocidade, o conforto (medido com a escala CR-10 Borg) é diminuído, assim como o tempo para atingir VDV de $15 \text{ m/s}^{1,75}$. O carona sente mais desconforto com o aumento da velocidade da motocicleta, quando comparado com o motociclista motorista. Concluem, por fim, que um dos redutores de velocidade seria mais indicado que outro, por levar a vibrações de impacto menos severas para os ocupantes das motos.

Shivakumara e Sridhar (2010) realizaram estudo sobre a vibração e seus efeitos na saúde de motociclistas. As medições experimentais foram feitas sob diversas condições de pista e condição dos motociclistas. Os valores medidos reportam limites, além daqueles considerados saudáveis pela literatura, sugerindo grandes probabilidades e feitos adversos à saúde dos condutores. Valores de VMB, superiores ao limite de $2,5 \text{ m/s}^2$, indicado pela Diretiva Europeia (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002) e valores de 5 m/s^2 , para VCI, no caso da via no. 7, são descritos, mas com valores máximos instantâneos de até 48 m/s^2 . Como conclusão, recomendam tornar a VMB abaixo de 1 m/s^2 , assim como a VCI dentro do limite superior de $0,8 \text{ m/s}^2$, para enquadrar os usuários desses veículos dentro dos limites estabelecidos na literatura como seguros.

Chen *et al.* (2009) apresentam um estudo para avaliar o nível de vibração VCI experimentado, seguindo as recomendações da ISO-2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997) e da ISO-2631-5 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2004). O estudo contou com doze motocicletas, compreendendo 6 motos de grande escala e 6 motos scooters, sob limites de velocidade de 55 km/h e 40 km/h . O trajeto compreendeu $20,6 \text{ km}$ de estradas

vicinais e pavimentadas de trajeto urbano e rural de Taiwan. Foram medidos o VDV (equivalente a 8h) e a tensão na cervical (S_c). Reportam que mais de 90% dos motociclistas tiveram VDV médio de 23,5 $m/s^{1,75}$, acima da zona de ação (17 $m/s^{1,75}$) e S_{ed} médio de 1,17 MPa, acima do limite de 0,80 MPa. Mais de 50% dos motociclistas atingiram os respectivos limites em menos de 2h de uso da moto. Correlações entre os valores medidos, velocidade da moto e tipo de terreno também foram observadas, sugerindo uma certa relação entre variáveis a ser investigada.

3 Fundamentação teórica

A vibração sentida pelos usuários de motocicletas provém, basicamente, das irregularidades das pistas e do próprio motor. Uma parcela dessas vibrações é amortecida e atenuada pelo sistema de suspensão da motocicleta e banco, outra, pelo próprio usuário, o qual absorve parte da vibração. O sistema de suspensão, assim como as irregularidades da pista, tipo de pneus e pressão dos mesmos exercem um papel importante nos níveis de vibração que são transmitidos aos usuários (motociclista e/ou seu carona). Por outro lado, a massa do motociclista também pode exercer um papel importante nessa vibração, visto que o sistema formado por moto e motociclista pode apresentar frequências naturais diversas. Dependendo da massa do usuário, poderá haver favorecimento da amplificação de certas vibrações que podem ser danosas, quando em excesso, tanto em amplitude, quanto em tempo de exposição.

Schio (2016) indica que os principais modos de vibração de um veículo motor são o movimento vertical de corpo rígido e de arfagem. Entretanto, modos de vibração lateral também são encontrados, principalmente, em motos de rodas mais largas e/ou com sistema de propulsão que tenha pistões não balanceados ou em direções diferentes que a do movimento da moto.

De certa forma, os níveis e tempo de exposição a que seres humanos podem estar expostos,

sem que haja comprometimento, quanto à sua saúde, estão descritos na literatura pertinente, como em Griffin (1990) e Harris e Piersol (2002). Essas informações são obtidas de diversos ensaios, assim como dados experimentais, colhidos em laboratório e que indicam a relação causa-efeito dos níveis de vibração e tempo de exposição com os problemas relacionados. Basicamente, a vibração recebida pelo motociclista pode entrar em ressonância com algumas de suas partes físicas e, esses níveis podem ser nocivos à saúde. Além do mais, podem provocar danos que podem ir de simples dores musculares, incômodos, dormências, enjoo até doenças degenerativas mais graves como hérnias lombares e cervicais, doença dos dedos brancos, síndrome do túnel do carpo, etc. Para corretamente avaliar o potencial prejudicial que uma vibração pode gerar ao ser humano, o parâmetro da aceleração *rms* (equação 1), assim como o valor VDV-*Vibration Dose Value* (equação 2), são os mais comumente empregados, visto que eles estão relacionados ao conteúdo de energia contida nas vibrações recebidas

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

$$VDV = \left\{ \int_{t_1}^{t_2} [a(t)]^4 dt \right\}^{1/4} \quad (2)$$

onde $a(t)$ é a aceleração ao longo do tempo, e t_1 e t_2 o intervalo em questão, para cálculo do valor *rms*, a partir da integração.

A definição de VDV é mais vantajosa e seu uso é indicado para os 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*.

Com vistas a corretamente selecionar a aceleração recebida e seu grau de afetação à determinada parte do corpo, as normas separam os tipos de vibração em dois grandes grupos: VCI (vibrações em faixa de frequência entre 0,1 Hz e 80 Hz que afetam o corpo como um todo, de pé,

sentado ou deitado) e VMB (vibrações na faixa de 8 Hz a 1000 Hz que afetam apenas algum membro, braços, por exemplo). Para corretamente avaliar o efeito que essas vibrações provocam nas partes do corpo humano (efeito da ressonância), Normas (ISO 2631, 1997, NR-15, ISO 5349, 2001, Directive 2002, etc.) propõem curvas de ponderação (que podem variar de acordo com a exposição) e que devem ser utilizadas para filtrar os valores de aceleração lidos pelos sensores para as correspondentes partes do corpo. Dessa forma, as acelerações são transformadas em acelerações ponderadas, para cada um dos eixos cartesianos que se esteja medindo (equação 3).

$$a_{wi} = \left[\sum_i (W_i a_i)^2 \right]^{1/2} \quad i = x, y \text{ e } z \quad (3)$$

Assim, apesar de não existir recomendação específica para o caso de motocicletas, seguindo as recomendações da ISO 2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997) e da ISO 5349-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001), para pessoas sentadas e segurando guidom, as seguintes curvas de ponderação devem ser utilizadas: W_k para VCI direção vertical, e W_d para direção x , y e W_h para qualquer direção, quando

avaliando VMB, como indicado pela figura 1. A figura 2 indica a orientação dos eixos de medição, no caso de uma motocicleta.

Dentre as normas existentes, para a avaliação de VCI e VMB, no Brasil, há a NR-15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014b), (Norma Regulamentadora com poder de definir insalubridades e multas trabalhistas), mais especificamente, o Anexo 8 e a NR-09 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014a), onde há a especificação dos limites de ação (VAE, *Vibration Action Value*, a partir do qual medidas corretivas devem ser tomadas para mitigar a exposição de vibração, com valores de $2,5 \text{ m/s}^2$, para VMB, e $0,5 \text{ m/s}^2$, para VCI). Na mesma norma, há também a especificação dos limites de exposição à vibração (VLE, *Vibration Limit Exposure*, acima do qual está caracterizada a condição insalubre de exposição, com valores de 5 m/s^2 para VMB e $1,1 \text{ m/s}^2$ para VCI), assim como a NHO-09 e 10 (FUNDACENTRO, 2013a; 2013b), auxiliar na definição dos procedimentos equipamentos e cuidados para a medição e definições das curvas de ponderação. Para os valores de VDV, as normas regulamentadoras especificam apenas os limites de ação de $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$ e limite de exposição de $21 \text{ m/s}^{1,75}$ para VCI.

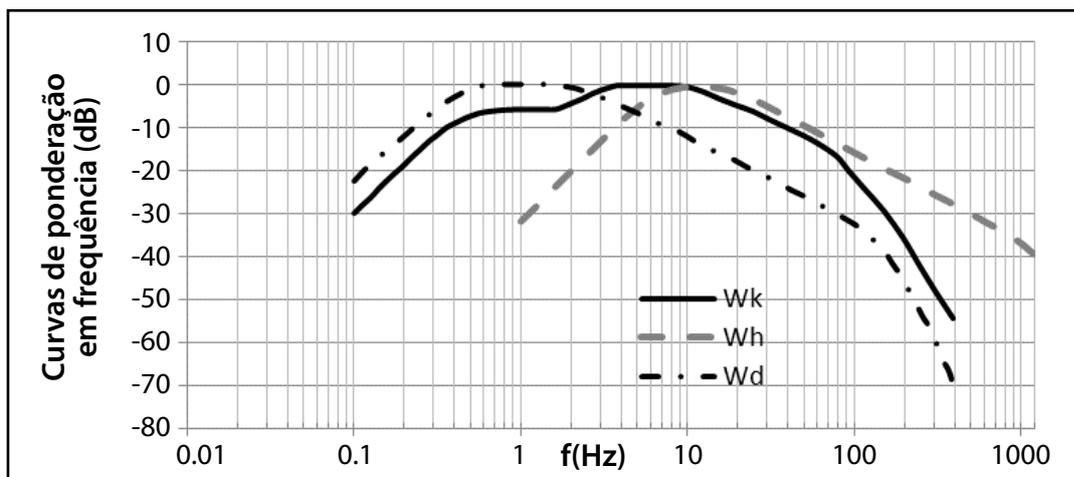


Figura 1 - Curva de ponderação por frequência W_k e W_d para vibração de corpo inteiro e W_h para vibração do sistema mão braço
Fonte: Adaptado de International Organization for Standardization (1997; 2001).

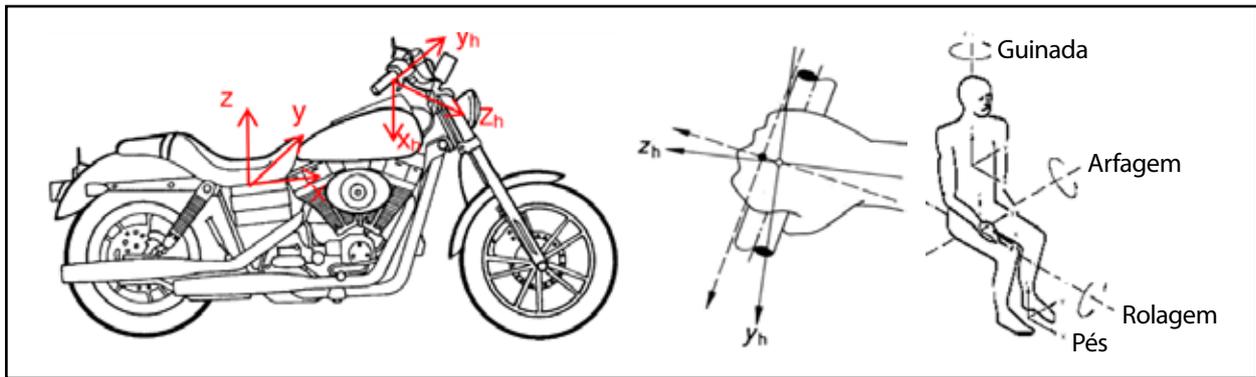


Figura 2 - Sistema de coordenadas basicêntrico adotado para vibração mão-braço e corpo inteiro e sua localização nos pontos de medição da moto
 Fonte: Adaptado de International Organization for Standardization (1997; 2001).

Como citado por Schio (2016), cabe ressaltar que esses valores são praticamente os mesmos indicados pela Diretiva Europeia (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002), pela ISO-3631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997) e pela ISO 5349-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001), (para VCI, limites de $0,8 \text{ m/s}^2$ e $1,15 \text{ m/s}^2$ e, para VMB, e exposição de 8h diárias, $5,0 \text{ m/s}^2$). Esse último limite indica que, em 6 anos, 10% de uma população exposta poderá apresentar problemas de dedos brancos.

Para a avaliação desse valor de aceleração *rms* equivalente, fatores multiplicativos devem ser utilizados em cada eixo medido e transformado em um valor único de vibração *rms*. A NHO-09 (FUNDACENTRO, 2014a) e a ISO 2631-4 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001) recomendam valores idênticos. Assim, com a determinação dos dois fatores de correção estabelecidos, é possível avaliar um valor de aceleração total ponderada, a_v , em m/s^2 :

$$a_v = \sqrt{(k_x a_{wx})^2 + (k_y a_{wy})^2 + (k_z a_{wz})^2} \quad (4)$$

Nesse ponto, há uma diferença entre as recomendações da ISO 2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997) e da NR-15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA

DE NORMAS TÉCNICAS, 2014b): 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, 2014a), a variável correspondente é a aceleração média resultante (*amr*) e deve-se fazer a soma com os fatores de correção.

Nesse caso, duas possibilidades ocorrem para avaliar a exposição à vibração: (a) se a medida experimental (geralmente alguns minutos) representa toda a exposição diária recebida (8h); e (b) se a medida experimental (alguns minutos) representa o tempo de exposição diária total. Para essas situações, deve-se determinar a aceleração total equivalente, chamada aceleração equivalente da exposição normalizada, onde, T_0 apresenta-se como duração de jornada de 8 horas, T , como jornada efetiva do trabalhador (GRIFFIN, 1990; HARRIS; PIERSOL, 2002; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997).

$$A(8) = a_{ve} (T / T_0)^{1/2} \quad (5)$$

4 Procedimentos e equipamentos utilizados

Para determinação dos valores de vibração transmitidos ao condutor da motocicleta, empregou-se o uso de acelerômetros, posicionados no guidom e assento, compatíveis com o equipamento de leitura. Para análise e

armazenamento das informações coletadas, o instrumento utilizado foi o Quest VI-400Pro (QUEST TECHNOLOGY, 2005), número de série 12430. O aparelho possui capacidade de processar até quatro canais simultaneamente

e possui memória interna para 32Mb, para armazenamento de dados. Serão utilizados três canais, para os sinais recebidos dos eixos coordenados x, y e z. Na figura 3, é apresentada uma imagem do equipamento utilizado.

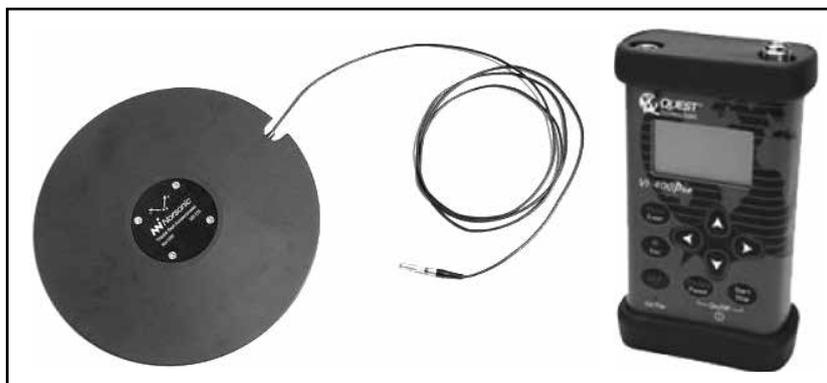


Figura 3 - Kit equipamentos VI400-Pro e transdutores utilizados nas medições
Fonte: O autor (2016).

Para gerar os dados de entrada no Medidor VI400-Pro, para análise da vibração, fez-se uso de acelerômetros, os quais têm a função de converter a energia mecânica, oriunda das acelerações sofridas pelo condutor em sinais elétricos, para que, assim, o analisador consiga ler os dados captados. Para avaliar a VCI, empregou-se o uso de um transdutor do tipo *seatpad*, que apresenta formato de um disco flexível de material semirrígido padronizado e com núcleo rígido, onde os acelerômetros estão localizados. O uso desse tipo de transdutor se justifica pelo fato de se adequar ao formato do banco e não interferir na dinâmica da interface corpo-banco, além de se movimentar com toda a estrutura. Nesse caso, o *seatpad* utilizado é o modelo 070-030, número de série 646, com um acelerômetro tri-axial de sensibilidade nominal de 100,3 mV/g em cada um de seus eixos. Para o experimento, posicionou-se o *seatpad* no assento da motocicleta, observando o alinhamento entre o núcleo do *seatpad* e a coluna do condutor, com orientação dos eixos correspondente com as exigências da norma ISO 2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997). Para avaliar a VMB, foi utilizado um acelerômetro piezolétrico tri-axial Dytran, modelo

3023A2, S/N 4147, com sensibilidade nominal de 10 mV/g para cada um dos seus eixos x, y e z. O acelerômetro é acoplado ao guidom da moto, de forma a ficar na posição mais próxima possível da mão do motociclista.

Para uma correta coleta de dados para análise científica, é feita a configuração dos equipamentos utilizados. Nesse caso, fez-se uso do *software* compatível com VI-400Pro, o QuestSuite Professional II, que permite definir quais curvas de ponderação e fatores de correção adequadas serão utilizadas, conforme a condição analisada. Adotou-se, para este estudo, as curvas Wh, para VMB, e Wd e Wk, para VCI, curvas expostas na figura 1.

4.1 Trajeto de testes

Para padronizar o experimento, definiu-se um trajeto comum a todas as motocicletas, buscando retratar as condições experimentadas por um motociclista em seu uso cotidiano. O percurso, como pode ser visto na figura 4, dispõe de diferentes pavimentos e condições de trânsito. Essa rota foi executada duas vezes com cada motocicleta, uma vez para medir VCI e outra para VMB. A rota se inicia no trecho em vermelho,

4.2 Modelos de motos analisadas

Foram realizadas medições em sete motocicletas, de diferentes estilos, categorias, motorizações e características geométricas. São elas Neo 115, YBR 125, CG 150, CB 300R, XT 600E, V-Strom e Varadero, cujas principais características podem ser observadas na tabela 1 (cada

linha corresponde aos citados modelos de motos respectivamente). Todas as motos testadas encontravam-se em perfeitas condições de uso, sem qualquer alteração de suas características originais. Seus pneus foram calibrados no mesmo equipamento, seguindo especificação de cada fabricante.

Tabela 1- Resumo das características das motos estudadas

Moto	Ano	Motor	Potência	Torque	Suspensão	Pneus	Transmissão	Massa
Neo 115	2005	Monocilíndrico, 4 tempos, arrefecimento a ar, 114 cm ³	8,4 cv a 8.000 rpm	0,78 kgf.m a 7.000 rpm	Dianteira: Garfo telescópico / 90 mm Traseira Biamortecida / 55 mm	Dianteiro: 70/90-16 Traseiro: 80/90-16	CVT	101 kg
YBR 125	2005	Monocilíndrico, 4 tempos, arrefecimento a ar, 124 cm ³	11,2 cv a 8.000 rpm	1,28 kgf.m a 6.500 rpm	Dianteira: Garfo telescópico / 120 mm Traseira Biamortecida / 105 mm	Dianteiro: 2,75-18 Traseiro: 90/90-18	5 velocidades, Corrente	108 kg
CG 150	2008	Monocilíndrico, 4 tempos, arrefecimento a ar, 149,2 cm ³	14,2 cv a 8.000 rpm	1,35 kgf.m a 6.500 rpm	Dianteira: Garfo telescópico / 130 mm Traseira Biamortecida / 101 mm	Dianteiro: 80/100-18 Traseiro: 90/90-18	5 velocidades, Corrente	121 kg
CB 300R	2014	Monocilíndrico, 4 tempos, arrefecimento a ar, 300 cm ³	26,5 cv a 7.500 rpm	2,81 kgf.m a 6.000 rpm	Dianteira: Garfo telescópico / 130 mm Traseira Monoamortecida / 105 mm	Dianteiro: 110/70-17 Traseiro: 140/70-17	5 velocidades, Corrente	148 kg (C-ABS)
XT 600E	2003	Monocilíndrico, 4 tempos, arrefecimento a ar, 595 cm ³	45 cv a 6.500 rpm	5,10 kgf.m a 5.500 rpm	Dianteira: Garfo telescópico / 225 mm Traseira Monoamortecida / 220 mm	Dianteiro: 90/90-21 Traseiro: 130/180-17	5 velocidades, Corrente	172 kg
V-Strom	2007	Bicilíndrica, 4 tempos, arrefecimento líquido, 996 cm ³	98 cv a 7.600 rpm	10,3 kgf.m a 6.400 rpm	Dianteira: Garfo telescópico / 160 mm Traseira Monoamortecida / 163 mm	Dianteiro: 110/80-19 Traseiro: 150/70-17	6 velocidades, Corrente	208 kg
Varadero	2007	Bicilíndrica, 4 tempos, arrefecimento líquido, 996 cm ³	93 cv a 6.500 rpm	10 kgf.m a 5.500 rpm	Dianteira: Garfo telescópico / 155 mm Traseira Monoamortecida / 145 mm	Dianteiro: 110/80-19 Traseiro: 150/70-17	6 velocidades, Corrente	244 kg

Fonte: O autor (2016).

Para padronizar as medições, todos os veículos foram conduzidos pelo mesmo piloto, com 1,85m e 108kg, utilizando o mesmo estilo de condução em todas as sessões de medição.

5 Resultados

5.1 Avaliação da vibração

De uma maneira geral, observou-se que os níveis de vibração nas motos avaliadas foram elevados. Essa conclusão é válida para

ambos os pontos de medição (VCI e VMB). A figura 6 mostra os valores *rms* (combinado nos 3 eixos), para a condição (a) VCI, e (b) VMB, assim como os respectivos valores de VAE e VLE. Esses valores são correspondentes aos indicados para a Norma ISO 2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997), semelhantes à NR-15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014b), para a Diretiva

Europeia (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002) para VCI e NHO-10 (FUNDACENTRO, 2013b), semelhantes à Diretiva Europeia (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002), para VMB. Percebe-se que, a moto CB 300R, foi a que mais vibração gerou, tanto para VCI, quanto para VMB. No caso de VCI, a moto V-Strom apresentou menos vibração, enquanto que no caso de VMB, a Neo 115

foi a que apresentou menos vibração. Percebe-se que motos de propostas de mercado muito semelhantes (V-Strom, Varadero) apresentaram valores de vibração VCI e VMB muito parecidos, enquanto que para as motos populares, essas diferenças foram maiores. Supõe-se essas similaridades ao fato das motos (V-Strom e Varadero) terem características mecânicas semelhantes, de arrefecimento à água, dois cilindros, massa e suspensão semelhantes, indicados na tabela 1).

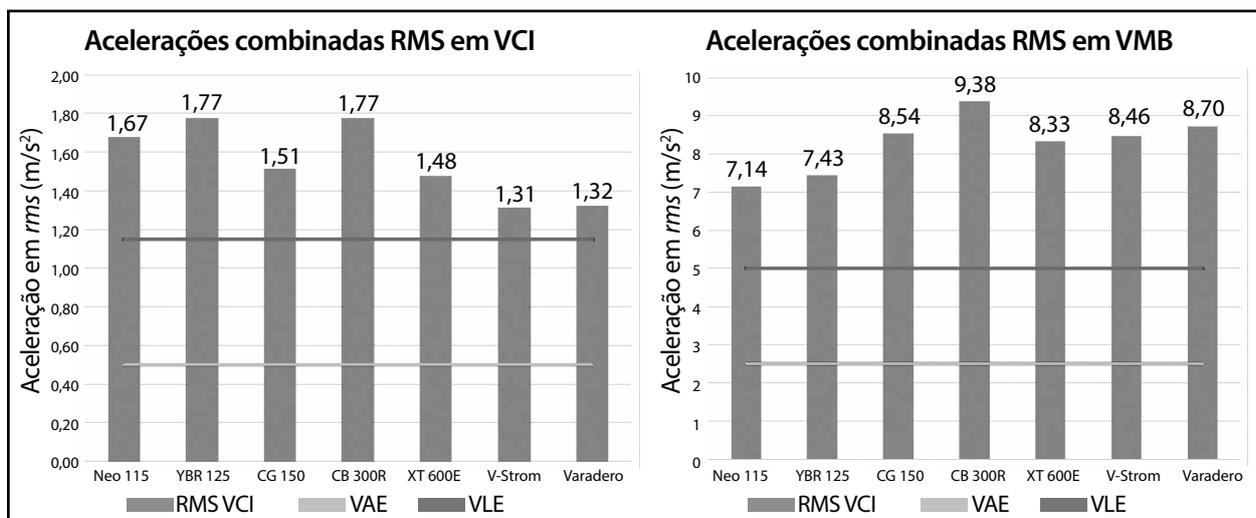


Figura 6 - Resultado para acelerações combinadas *rms* nos três eixos (VCI e VMB).
Fonte: O autor (2016).

Na figura 7, por exemplo, é mostrado um gráfico para as acelerações *rms* nos três eixos para a medição da CB 300R no trajeto medido, como ilustração. Percebe-se que no início e fim do trajeto (primeiro 1 min e últimos 2 min) ocorrem as maiores magnitudes de vibração como o esperado, devido ao pavimento nesses trechos serem de paralelepípedo irregular (figura 5). Comportamento semelhante ocorreu com as outras motos. Entre os tempos de 1-6 minutos, que corresponde a asfalto urbano (figura 4 e figura 5, asfalto em bom estado, mas moto com velocidade restrita por estar em ambiente urbano e com tráfego), o gráfico apresenta diversos picos, que são ocasionados pelas lombadas, paradas excessivas de esquinas, trânsito e irregularidades do pavimento. Esse tipo de via é o mais comum

em grandes cidades. Entre os tempos de 6 e 7 min., percebe-se o menor nível de vibração correspondentes à parada da moto em sinaleira (valor correspondente apenas à vibração produzida pelo motor), o que demonstra que a vibração oriunda do motor tem uma influência muito pequena, quando comparada à condição de deslocamento.

Entre os tempos de 7 a 17 min., correspondentes ao trecho percorrido sobre a rodovia, onde se andou em velocidade cruzado, variando pouco a aceleração, nota-se um nível mais constante de vibração com alguns poucos picos atribuídos a desníveis em pontes e viadutos, além de irregularidades comuns da via. Comportamentos semelhantes, qualitativamente, também foram verificados nas outras 6 motos avaliadas, com níveis de vibrações.

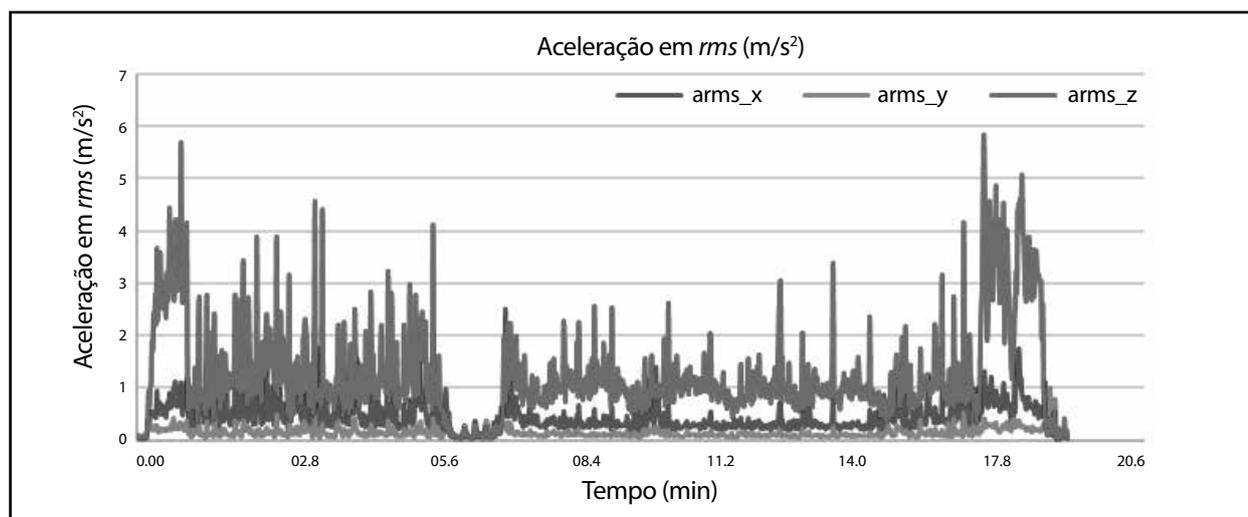


Figura 7 - Gráfico de aceleração *rms* no assento da motocicleta CB 300R (VCI)
Fonte: O autor (2016).

5.2 Avaliação, quanto ao conforto

Como foi observado no item anterior, o nível de vibração, em geral, foi elevado, sempre acima de $1,5 \text{ m/s}^2$ em VCI em todas as motos. Assim, considerando os critérios da ISO 2631 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 1997) (tabela 2), quanto ao conforto, todas as motos obtiveram resultado de conforto, abaixo do limite aceitável, variando de “desconfortável” a “muito desconfortável”.

Tabela 2 - Classificação de conforto, segundo norma ISO 2631-1

Conforto ISO 2631-1 (1997)	
$av \text{ (m/s}^2\text{)}$	Classificação
<0,315	Confortável
0,315 a 0,63	Levemente confortável
0,63 a 1	Pouco desconfortável
1 a 1,6	Desconfortável
1,6 a 2,5	Muito desconfortável
>2,5	Extremamente desconfortável

Fonte: International Organization for Standardization (1997).

Fazendo um paralelo entre os níveis medidos e as características mecânicas das motos, percebe-se que há uma tendência de motos com maior número de cilindros vibrar menos que motos com menos cilindros. Assumindo as

motos de maior quantidade de usuários (mais comuns e utilizadas no mercado) Neo 115, CG 150, YBR 125 e CB 300R, a Honda CG 150 foi a que mostrou melhor resultado ($1,51 \text{ m/s}^2$), ou seja, menos desconfortável que as outras.

A tabela 3 indica um resumo dos resultados obtidos com as medições das motos estudadas, utilizando-se como referencial os valores indicados pela ISO 2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997), para conforto, vistos na tabela 2.

Tabela 3 - Classificação das motocicletas quanto ao conforto, segundo norma ISO 2631-1

Moto	Marca	$av \text{ (m/s}^2\text{)}$	Classificação conforto
Neo 115	Yamaha	1,67	Muito desconfortável
YBR 125	Yamaha	1,77	Muito desconfortável
CG 150	Honda	1,51	Desconfortável
CB 300R	Honda	1,77	Muito desconfortável
XT 600E	Yamaha	1,48	Desconfortável
V-Strom	Suzuki	1,31	Desconfortável
Varadero	Honda	1,32	Desconfortável

Fonte: International Organization for Standardization (1997).

Para outras normas e autores, pode-se verificar um comparativo indicado na figura 8 (GRIFFIN, 1990). Também se percebe que

motocicletas com refrigeração a água apresentaram níveis de vibração menores que aquelas com refrigeração a ar. Outra correlação observada, é a das motos V-Strom, Varadero e XT 600E,

por serem motos mais pesadas e de categoria *trail* (pneus de uso misto e suspensão de curso longo e macio), elas apresentaram níveis mais baixos de vibração.

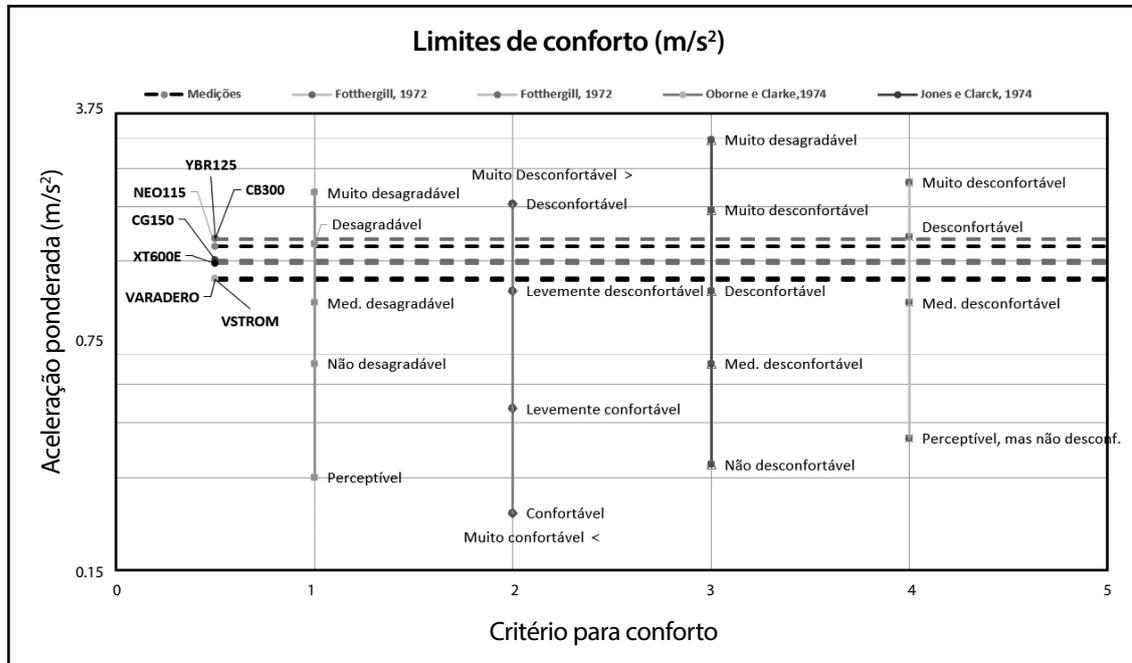


Figura 8 - Valores de Aceleração rms ponderados, comparados a critérios de conforto
Fonte: O autor (2016).

5.3 Avaliação, quanto à saúde

As tabelas 4 e 5 apresentam os resultados de aceleração combinada a_v para cada uma das motos medidas. Também são apresentados os respectivos valores de VDV, assim como os tempos necessários para atingir o VAE e o VLE (obtidos pela equação 5), nas hipóteses de que o tempo de exposição seja igual ao tempo de medição (aproximadamente 20 min.) e de que o tempo de exposição seja igual a 8 h de uma jornada diária. Lembrar que, quando o tempo calculado dado na tabela 4 resultar em um valor inferior ao tempo de exposição, isso significará que o critério não foi atendido, indicando que haverá insalubridade (no caso de VLE) e que se deve tomar alguma atitude para diminuir a exposição no caso de VAE. Nesse ponto, este trabalho traz sua real contribuição para este tema da exposição à vibração em motociclistas.

Tomando a tabela 4, na condição de VCI e medidas obtidas no assento, percebe-se que todas as motos apresentaram, para uma jornada de 8 h, tempos para atingir o VLE e VAE menores que 8 h, indicativo de que estaria numa situação insalubre. A situação de pior exposição é de 3,36 h para atingir VLE, na moto CB 300R, e a moto que mais tempo levaria para atingir o VLE é a V-Strom, com 6, 19h necessário. Observando os dados da tabela 5, para o caso de $T_{exp} = T_{med}$ (20 min de exposição numa jornada diária de 8 h), a moto YBR 125 apresentou um tempo necessário para atingir o VAE (limite de ação) de 1,77 h que seria um valor relativamente baixo. Supondo que feito o trajeto apenas uma vez ao dia, não haverá problemas relacionados à saúde em nenhuma das motos analisadas (VAE e VLE não alcançados). Ainda na tabela 4, é possível visualizar que os valores de VDV se mostraram elevados, acima dos valores de VAE e próximos ao VLE (9,1 e 21 m/s^2 , respectivamente).

Tabela 4 - Resumo dos resultados para aceleração *rms* e valores VDV, combinados nos três eixos (VCI)

Moto	Marca	<i>av</i> (m/s ²)	VDV (m/s ^{1,75})	$T_{exp} = T_{med}$ (~0,3h)		$T_{exp} = 8h$	
				Tempo até atingir VAE (h)	Tempo até atingir VLE (h)	Tempo até atingir VAE (h)	Tempo até atingir VLE (h)
Neo 115	Yamaha	1,67	18,04	2,10	11,13	0,71	3,78
YBR 125	Yamaha	1,77	18,86	1,91	10,09	0,64	3,38
CG 150	Honda	1,51	14,28	2,81	14,84	0,88	4,64
CB 300R	Honda	1,77	16,83	2,04	10,82	0,64	3,36
XT 600E	Yamaha	1,48	14,52	3,04	16,11	0,92	4,85
V-Strom	Suzuki	1,31	10,93	3,89	20,56	1,17	6,19
Varadero	Honda	1,32	15,11	3,81	20,14	1,15	6,07

Fonte: O autor (2016).

Tabela 5 - Resumo dos resultados para aceleração *rms*, combinada nos três eixos (VMB)

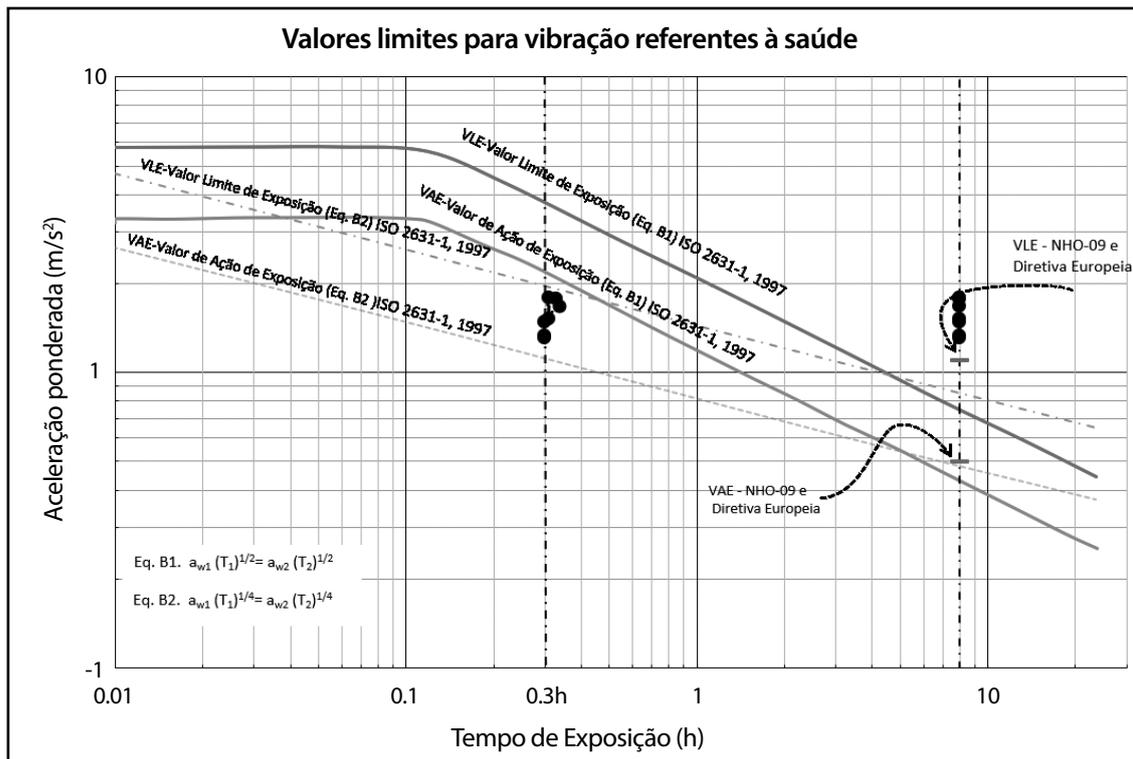
Moto	Marca	<i>av</i> (m/s ²)	VDV (m/s ^{1,75})	$T_{exp} = T_{med}$ (~0,3h)		$T_{exp} = 8h$	
				Tempo até atingir VAE (h)	Tempo até atingir VLE (h)	Tempo até atingir VAE (h)	Tempo até atingir VLE (h)
Neo 115	Yamaha	7,14	2,96	11,84	0,98	3,93	3,78
YBR 125	Yamaha	7,43	2,49	9,96	0,90	3,62	3,38
CG 150	Honda	8,54	2,09	8,38	0,69	2,74	4,64
CB 300R	Honda	9,38	1,91	7,66	0,57	2,27	3,36
XT 600E	Yamaha	8,33	2,39	9,58	0,72	2,88	4,85
V-Strom	Suzuki	8,46	2,32	9,28	0,70	2,80	6,19
Varadero	Honda	8,70	2,19	8,77	0,66	2,64	6,07

Fonte: O autor (2016).

Na situação de VMB, avaliadas no guidom, tomando a tabela 5, fica evidenciado que todas as motocicletas apresentaram para uma jornada de 8 h, tempos de VLE e VAE menores que 8 h, indicativo de que estaria numa situação insalubre. A pior situação de exposição é vista para a motocicleta CB 300R, com 9,38 m/s², que ultrapassa facilmente o valor de 5 m/s², limite de VLE. Com esses níveis seriam necessários apenas 2,27 h para atingir VLE, enquanto que a moto que mais tempo levaria para atingir o VLE é a Neo 115, com 3,93 h necessárias.

Conforme tabela 5, para o caso de $T_{exp} = T_{med}$ a moto CB 300R apresentou um tempo necessário para atingir o VAE de 1,91 h que seria um valor relativamente baixo. Como a exposição para essa situação foi menor que todos os valores de VAE e VLE, não haverá problemas relacionados à saúde em nenhuma das motos analisadas.

A figura 9 traz um resumo das acelerações combinadas e ponderadas para VCI de todas as motos medidas no trajeto especificado, colocadas no gráfico de zonas de risco, proposto pela ISO 2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1997).



6 Conclusões

Vibrações em motocicletas tornaram-se um tema de interesse com o crescente aumento de utilizadores e volume desse tipo de veículo nas ruas e nas estradas do Brasil. O uso de motos como meio de transporte e, atualmente, de trabalho, torna relevante e importante os primeiros dados de vibração medidos com esses tipos de motos no Brasil. No exterior, esse tipo de medição tem se tornado mais comum, principalmente, com artigos indicando relações de causa e efeito para doenças ocupacionais de trabalhadores (como carteiros motorizados) com o nível de vibração sofrido, durante a vida laboral.

Este trabalho mediu 7 tipos de motos de diferentes marcas e modelos, sob as mesmas condições de terreno e dirigidas por um mesmo motociclista, sendo, portanto, uma avaliação preliminar. O objetivo esteve em monitorar o nível de conforto oferecido pelas motos como um meio de comparação da qualidade de cada uma das motos. Posteriormente, percebeu-se que os níveis de vibração em muito excediam os limites

estabelecidos por Normas, tanto para uso diário de 8h como para tempo de uso menor. Isso sugere uma atenção sobre o uso de motos, como meio de trabalho, no que concerne aos níveis de vibração, aos quais estariam expostos seus utilizadores.

As medições feitas seguiram rigorosos procedimentos indicados em Normas, utilizando equipamentos comerciais, especificamente definidos para esse fim e devidamente calibrados. A vibração oriunda do motor, com motocicleta parada, mostrou-se baixa, indicando que, com pouca carga, o motor tem pouca contribuição na vibração, frente à condição de deslocamento. Verifica-se que a superfície do pavimento e trânsito urbano tem maior relevância na vibração em relação à velocidade, onde trajetos em paralelepípedos geraram maiores acelerações (com menor velocidade média) e, em asfalto de rodovia, mesmo com velocidade superior, ocorreram acelerações menores que asfalto urbano, devido às lombadas, carga do motor e a paradas na via por trânsito. Percebeu-se que em todos os casos analisados, o nível de vibração combinado

excedia o nível de conforto indicado por diferentes Normas e autores. Isso coloca esse meio de transporte, quanto aos níveis de conforto e de vibração, em desvantagem ao transporte por ônibus e carro, comparando com estudos anteriores.

Conforme visto na análise de conforto, pode-se afirmar que todas as motocicletas testadas são desconfortáveis. As motos populares, em sua maioria, obtiveram os piores resultados, o que reforça a ideia de que o motor tem uma parcela menor na vibração global da moto. Isso leva a crer que em motocicletas maiores, com maior massa, há um cuidado maior por parte dos fabricantes, para atenuar a vibração e garantir um conforto maior do condutor, como contrapesos no guidom, banco maior. Visto que motos ditas “grandes”, geralmente são utilizadas em viagens, por longos períodos de tempo.

Os resultados encontrados, de acelerações *rms*, variando entre 1,31 a 1,77 m/s², para VCI, e, de 7,14 a 9,38 m/s², para VMB, mostraram-se altos. Evidenciando, assim que, para ambos os casos, os limites de VAE e VLE são atingidos facilmente, expondo o condutor a condições insalubres. Em decorrência disso, caso o condutor que tenha uma condição de trabalho, onde sua exposição seja de 8 h diárias na condição medida, ultrapassa rapidamente os valores calculados de VAE e VLE. O último resultou em limites de 3,36h a 6,19h para VCI e 2,27h a 3,93h para VMB. Essa condição de insalubridade pode, com o passar do tempo, ocasionar danos à saúde, conforme os estudos têm apontado. A condição de VMB se mostrou mais crítica, visto que para todas as motos o limite foi atingido com menos de 1 h de exposição. No caso mais extremo, com apenas 0,57h. Posto isso, profissionais que fazem uso de motocicleta em sua jornada de trabalho, ao longo do dia, deveriam receber adicional de insalubridade. Ainda vale ressaltar que, para condutores de uso curto e recreativo, onde o tempo de exposição é igual a tempo medido (aproximadamente 0,3 h), ou seja, realizam o equivalente uma vez ao dia o trajeto,

não foi evidenciada condição insalubre em nenhuma das motocicletas. No entanto, os valores de VAE, para essa exposição, são relativamente baixos e podem ser alcançados com facilidade, caso um motociclista tenha uma exposição um pouco mais longa, o que pode ser comum em viagens com períodos de 1h a 3h diárias.

Diante de tal situação de insalubridade, evidenciada por este estudo, aliada a publicações que sugerem doenças relacionadas a jornadas de trabalho em motocicletas em condições insalubres, fica notória a necessidade de um estudo mais aprofundado, por parte de órgãos fiscalizadores, que verifiquem uma gama maior de condições de percursos e veículos, a fim de normatizar e regulamentar condições aos profissionais que exercem atividades com motos. Assim, fabricantes, para atender as normas, viriam a desenvolver soluções com o intuito de melhorar o conforto e aumentar o tempo limite de exposição.

Referências

AGOSTINI, S. *et al.* Investigation on motor vehicles structural vibrations caused by engine unbalances. In: SEM ANNUAL CONFERENCE, 2009, Albuquerque. **Proceedings...** Connecticut: Society for Experimental Mechanics, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 9**: programa de prevenções de riscos ambientais: Anexo n. 1: Vibrações. 2014a. 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. 2014b. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.html>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

CHEN, H. C. *et al.* Whole-body vibration exposure experienced by motorcycle riders: an evaluation according to ISO 2631-1 and ISO 2631-5 standards. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 39, p.708-718, 2009.

CHEN, H. C.; LIU, Y. P.; CHIANG, C. T. Whole-

- body vibration exposure and musculoskeletal complaints in urban mail carriers. In: SALVENDY, G.; KARWOWSKI, W. (Ed.). **Advances in human factors and ergonomics series**. Boca Raton: CRC, 2012. p. 462-471.
- CHEN, H. C.; PAN, Y. T. Whole-body vibration exposure in urban motorcycle riders. In: THE INSTITUTE OF INDUSTRIAL ENGINEERS ASIAN CONFERENCE, 2013, Taipei. **Proceedings...** Singapore: Springer, 2013. p. 975-983.
- EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK. **Directive 2002/44/EC - vibration**. Bilbao, 2002.
- FUNDACENTRO. **Normas de Higiene Ocupacional - NHO 09**: 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. 2016.
- FUNDACENTRO. **Normas de Higiene Ocupacional - NHO 10**: procedimento técnico: avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços. 2013b. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/download/Publicacao/222/NHO10_portal-pdf>. Acesso em: 30 abr. 2016.
- GOOGLE MAPS. Portão. 2016. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Port%C3%A3o,+RS,+93180-000/@-29.6921515,-51.2385687,16.5z/data=!4m5!3m4!1s0x95195b8d50419395:0xc54d72d99ac71a3!8m2!3d-29.7020325!4d-51.2434055?hl=pt-BR>>. Acesso em: 01 jul. 2016.
- GRIFFIN, M. J. **Handbook of human vibration**. London: Academic, 1990.
- HARRIS, C. M.; PIERSOL, A. G. **Shock and vibration handbook**. 5th New York: McGraw-Hill, 2002. 1456 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Frota nacional de veículos. 2016**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php>>. Acesso em: 01 dez. 2016.
- 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, 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 motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems. Geneva, 2001.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631-5: 1997**: mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration - part 5: method for evaluation of vibration containing multiple shocks. Geneva, 2004.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5349-1: 2001**: mechanical vibration: measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - part 1: general requirements. Geneva, 2001.
- KIRAN, M. C.; OMKAR, S. N.; VADIRAJ, B. Evaluation of biodynamic responses of human body subjected to impacts due to speed humps. **Experimental and Computational Biomechanics**, v. 2, n. 4, 2014.
- KUMAR, V.; SARAN, V. H.; GURUGUNTALA, V. Study of vibration dose value and discomfort due to whole body vibration exposure for a two wheeler driver. In: NATIONAL CONFERENCE ON MACHINES AND MECHANISMS, 16., 2013, Roorkee. **Proceedings...** Roorkee: Indian Institute of Technology, 2013.
- MATTIOLI, S. *et al.* A case report of vibration-induced hand comorbidities in postwoman. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 12, n. 47, p. 1-6, 2011.
- MENON, K. V.; INSALL, R. L.; IGNOTUS, P. I. Motor cycling and finger ischaemia: case report. **European Vascular Endovascular Surgery**, v. 14, p. 410-412, 1997.
- MILOSAVLJEVIC, S. *et al.* Exposure to whole-body vibration and mechanical shock:

a field study of quad bike use in agriculture. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 55, n. 3, p. 286-295, 2011.

MIRBOD, S. M. *et al.* Assessment of hand-arm vibration exposure among traffic police motorcyclists. **The International Archives of Occupational and Environmental Health**, v.70, p. 22-28, 1997.

MORENO, R. *et al.* Predictors of whole body vibration exposure in motorcycle riders. **Revista Facultad de Ingenieria Universidad de Antioquia**, v. 61, p. 93-10, 2011.

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

SCHIO, R. A. **Análise de exposição a vibrações em motocicletas**: um estudo de caso para VCI e VMB. 2016. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em

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

SHIVAKUMARA, B. S.; SRIDHAR, V. Study of vibration and its effect on health of the motorcycle rider. **Online Journal of Health and Allied Sciences**, v. 9, n. 2, 2010. Disponível em: <<http://cogprints.org/7008/1/2010-2-9.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2016.

TROXEL, W. M. *et al.* **Evaluating the impact of whole-body vibration (WBV) on fatigue and the implications for driver safety**. 2015. Disponível em: <http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1057.html>. Acesso em: 01 maio 2015.

YOKOMORI, M.; NAKAGAWA, T.; MATSUMOTO, T. Handlebar vibration of a motorcycle during operation on different road surfaces. **Scandinavian Journal on Work Environmental and Health**, v. 12, p. 322-337, 1986.