

Exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços**Occupational exposure to vibrations in hands and arms**

DOI: 10.34140/bjbv2n4-024

Recebimento dos originais: 20/08//2020

Aceitação para publicação: 20/09/2020

Joubert Rodrigues dos Santos Junior

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas / Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura

Instituição: Pontifícia Universidade Católica - PUC CAMPINAS

Endereço: Rua Professor Doutor Euryclides de Jesus Zerbini, 1516, Parque Rural Fazenda Santa Cândida, Campinas – SP, Brasil

E-mail: joubert.junior@traffos.com.br

Alberto Luiz Francato

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas / Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura

Instituição: Universidade Estadual de Campinas

Endereço: Rua Saturnino de Brito, 224, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas – SP, Brasil

E-mail: francato@fec.unicamp.br

Carlos Alberto Mariotoni

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas / Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura

Instituição: Universidade Estadual de Campinas

Endereço: Rua Saturnino de Brito, 224, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas – SP, Brasil

E-mail: mariotoni@fec.unicamp.br

Paulo Cezar Monteiro Lamim Filho

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas / Faculdade de Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei – MG, Brasil

E-mail: lamim@ufsj.edu.br

Josemar de Souza Moreira

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de São João Del Rei / Faculdade de Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei – MG, Brasil

E-mail: jsmoreira@yahoo.com.br

Fabiano Bianchini Batista

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas / Faculdade de Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei – MG, Brasil

E-mail: fabianchini@ufsj.edu.br

Letícia Resende Rodrigues

Graduada em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de São João Del Rei / Faculdade de Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei – MG, Brasil

E-mail: leticia_resende.rodrigues@outlook.com

RESUMO

A exposição ocupacional a vibrações está presente nas mais variadas formas de trabalho, sendo que um dos diversos riscos à saúde dos trabalhadores nas atividades realizadas em indústrias é a vibração em mãos e braços. Em conformidade com a norma ISO 5349-1, este trabalho tem por objetivo avaliar as frequências e os níveis vibracionais transmitidos aos membros superiores por uma lixadeira manual. A partir da análise dos resultados experimentais, obtidos por meio de um acelerômetro triaxial, pôde-se observar a importância da adoção de medidas preventivas que garantam a saúde e a integridade laboral dos profissionais submetidos a tais condições. Os resultados também mostram como o uso de uma luva de proteção anti-vibração reduz consideravelmente os níveis de exposição, proporcionando condições de trabalho mais seguras.

Palavras-chave: Frequência, vibração, higiene ocupacional, luva anti-vibração.**ABSTRACT**

The occupational exposure to vibrations is present in the most varied forms of work, and there are several risks to the health of workers in activities carried out in industries and a vibration in hands and arms. In accordance with ISO 5349-1, this work has as objective evaluated as frequencies and vibration levels for data transmission. From the analysis of the experimental results, obtained through a triaxial accelerometer, it was possible to observe an important one of the adoption of preventive measures that guarantee the health and a labor integrity of the professionals submitted to such conditions. The results also show how the use of an anti-vibration protection glove considerably reduces exposure levels, providing safer working conditions.

Keywords: Frequency, vibration, occupational hygiene, anti-vibration glove**1 INTRODUÇÃO**

A partir da descoberta e do uso das novas fontes de energia, o homem se libertava gradualmente da aplicação de sua força física como única fonte de energia de que dispunha. Com o aproveitamento de melhores forças motrizes, originaram-se as máquinas e equipamentos mecânicos. Graças às grandes descobertas do século XIX e à evolução das fontes de energia, chegou-se gradativamente as atuais máquinas e equipamentos de engenharia da construção, Guimarães (2010).

O advento dos motores elétricos, trouxe consigo o surgimento de ferramentas motorizadas no ambiente de trabalho, que tem proporcionado facilidade e otimização nas atividades industriais. Estas ferramentas ou máquinas rotativas, como toda máquina mecânica, produzem vibrações devido ao seu funcionamento.

O modelo vibratório é caracterizado pelo deslocamento ao longo do tempo, com o intercâmbio de energia potencial por cinética e vice-versa, resultando em movimento oscilatório. O movimento pode

consistir de um simples componente ocorrendo em uma única frequência, a exemplo de um diapasão; ou vários componentes ocorrendo em diferentes frequências simultaneamente, como por exemplo, o movimento de um pistão de um motor de combustão interna, Vendrame (2006).

Segundo Saliba (2014), a vibração é um movimento oscilatório de um corpo devido a forças desequilibradas de componentes rotativos e movimentos alternados de uma máquina ou equipamento. Se o corpo vibra, este descreve um movimento oscilatório e periódico, envolvendo deslocamento num certo tempo. Assim se tem envolvidas no movimento uma velocidade, uma aceleração e uma frequência.

Rao (2008), define vibração como um movimento que se repete após um intervalo de tempo, é muitas vezes causada por conta do desbalanceamento inerente ao sistema e, em muitos casos, o ser humano age como parte integral do sistema causando, assim, desconforto e prejuízo para o corpo humano. Segundo Gerges (2000), a vibração no corpo humano pode ocasionar sérias doenças, como por exemplo: danos permanentes em órgãos internos, perda de equilíbrio, visão turva e falta de concentração. As vibrações transmitidas ao corpo humano podem ser classificadas de duas formas: vibrações de corpo inteiro, ISO 2631-1 (1997), e vibrações de mãos e braços, ISO 5349-1 (2001).

As vibrações de corpo inteiro são de baixa frequência e alta amplitude e situam-se na faixa de 1 a 80 Hz, mais especificamente de 1 a 20 Hz. Estas vibrações são específicas para atividades de transporte, portanto estão presentes nas operações com tratores agrícolas. Já as vibrações de mãos e braços ou de extremidades, como o nome diz atingem certas extremidades do corpo, principalmente mãos e braços, situam-se na faixa de 6,3 a 1250 Hz, ocorrendo nos trabalhos com ferramentas manuais, Santos (2016).

Um dos diversos riscos à saúde dos trabalhadores nas atividades realizadas em indústrias e setores produtivos é a vibração em mãos e braços (VMB), também conhecida como vibração localizada, que está presente nas operações com ferramentas manuais vibratórias, e pode provocar entre outros distúrbios, alterações de ordem vascular, neurológica, osteoarticular e muscular, resultando em prejuízos aos trabalhadores e conseqüentemente às empresas devido a redução da capacidade laboral, Cunha (2006).

Segundo Saliba (2009), a vibração consiste no movimento inerente aos corpos que são dotados de massa e elasticidade. Como o corpo humano possui características de inércia e elasticidade, estas lhe conferem valores de frequência natural distintos, ou seja, cada parte do corpo vibra em frequências diferentes.

Quando uma frequência externa coincide com determinada frequência natural do corpo, ocorre a ressonância, que implica em amplificação do movimento. Assim, a energia vibratória associada a

esse efeito é absorvida pelo corpo, como consequência da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos, Saliba (2009).

Figura 1. Frequências naturais de cada parte do corpo.

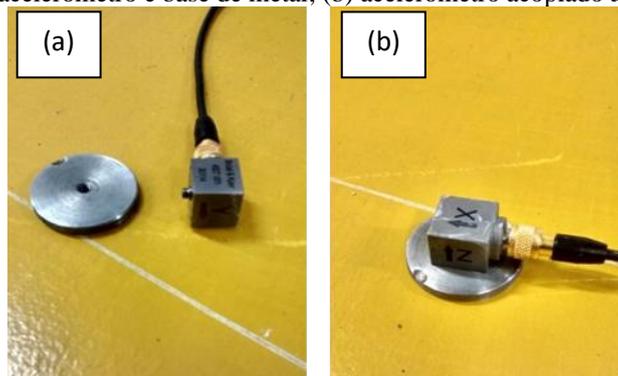


Neste contexto, torna-se cada vez mais importante conhecer os níveis de vibração e suas respectivas frequências sobre as quais os membros superiores estão submetidos. O objetivo deste trabalho é mensurar e analisar as frequências vibracionais transmitidas à membros superiores na realização de trabalhos com lixadeira, avaliar os riscos de ressonância em mãos e braços e o tempo de exposição à vibração permitido por norma conforme os níveis de vibração identificados. Os testes e análise dos resultados estão de acordo com o procedimento técnico da Norma de Higiene Ocupacional NHO 10 e a norma internacional ISO 5349 (2001).

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os sinais de vibração foram coletados por meio de um acelerômetro triaxial, modelo 4527-001 da Brüel & Kjaer, conectado à placa de aquisição de dados da National Instruments PCI-4461 de 24-Bit e 204.8 kS/s, com filtro anti-aliasing. Para melhor fixação do acelerômetro, foi utilizada uma base metálica. Na Fig. 2, tem-se o acelerômetro acoplado a base metálica.

Figura 2. (a) acelerômetro e base de metal; (b) acelerômetro acoplado a base de metal.



Na Fig. 3, tem-se a lixadeira de 1,480 kg utilizada nos ensaios experimentais, cuja potência é de 180 W e velocidade de 13500 opm (órbitas por minuto). A NH10 também determina que o acelerômetro deve ter no máximo 10% do peso total da ferramenta, sendo o peso do acelerômetro 17 g é evidente que esta condição está satisfeita.

Figura 3. Lixadeira orbital.

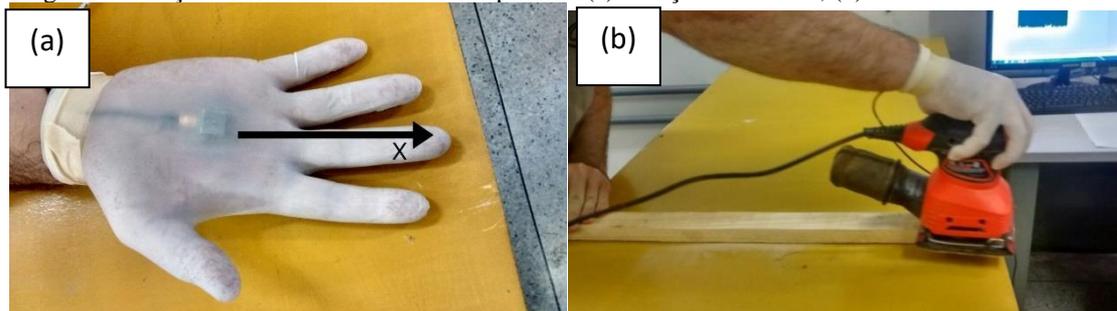


A Norma de Higiene Ocupacional (NH10) estabelece formas de montagem do acelerômetro junto à mão do trabalhador ou à ferramenta para que se possa obter um valor representativo do sinal. As medições para vibrações de mãos e braços devem ocorrer onde a vibração é transmitida aos membros, ou seja, na superfície da mão ou o mais próximo desta.

O Software usado para leitura dos dados é o VibSoft-80, configurado para a frequência de amostragem de 2.048 kHz, coletadas 8192 amostras em 4s que corresponde a resolução de 488.3 μ s. A sensibilidade foi ajustada conforme manual do acelerômetro com os valores de 103,59 m/s²/V para o eixo X, 99,6546 m/s²/V para o eixo Y e 98,1 m/s²/V para o eixo Z.

A primeira condição de teste consiste no acelerômetro fixado à mão do operador, como ilustra a Fig. 4. A luva serviu para ajudar na proteção do acelerômetro, além de evitar que este escape da palma da mão, contudo é importante que este material não seja espesso para preservar o realismo da aquisição dos sinais, por isso a luva de látex foi a escolhida. Também está representado na Fig. 4 a direção do eixo x no sentido do dedo médio.

Figura 4. Fixação do acelerômetro mão do operário. (a) Direção do eixo X; (b) Lixadeira durante uso.



A segunda condição consiste na fixação do acelerômetro diretamente à máquina, por meio de abraçadeiras de nylon, de modo que fique fixo à superfície e não deslize (Fig. 5).

Figura 5. Acelerômetro fixado à lixadeira.



A aceleração média (am) é obtida através do cálculo do valor eficaz RMS (do inglês *root mean square*) dos sinais de cada amostra. Os sinais discretos são então calculados conforme Eq. (1).

$$am_j(rms) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{N=1}^n a_j^2} \quad [m / s^2] \quad (1)$$

Em seguida é calculada a aceleração media resultante dos três eixos “X”, “Y”, “Z”, conforme a Eq. (2).

$$amr = \sqrt{(f_x am_x)^2 + (f_y am_y)^2 + (f_z am_z)^2} \quad [m / s^2] \quad (2)$$

É então calculada a aceleração resultante da exposição parcial ($arep$) através da média das acelerações medias resultantes, Eq. (3).

$$arep = \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{k=1}^s amr_{ik}} \quad [m / s^2] \quad (3)$$

Em seguida, calcula-se a aceleração resultante de exposição (*are*), que corresponde à aceleração média resultante representativa da exposição ocupacional diária, considerando os três eixos ortogonais e as diversas componentes de exposição identificadas, definida pela Eq. (4).

$$are = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m n_i arep_i^2 T_1} \quad [m / s^2] \quad (4)$$

Aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*), corresponde à aceleração resultante de exposição (*are*) convertida para uma jornada diária padrão de 8 horas, obtida através da Eq. (5).

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad [m / s^2] \quad (5)$$

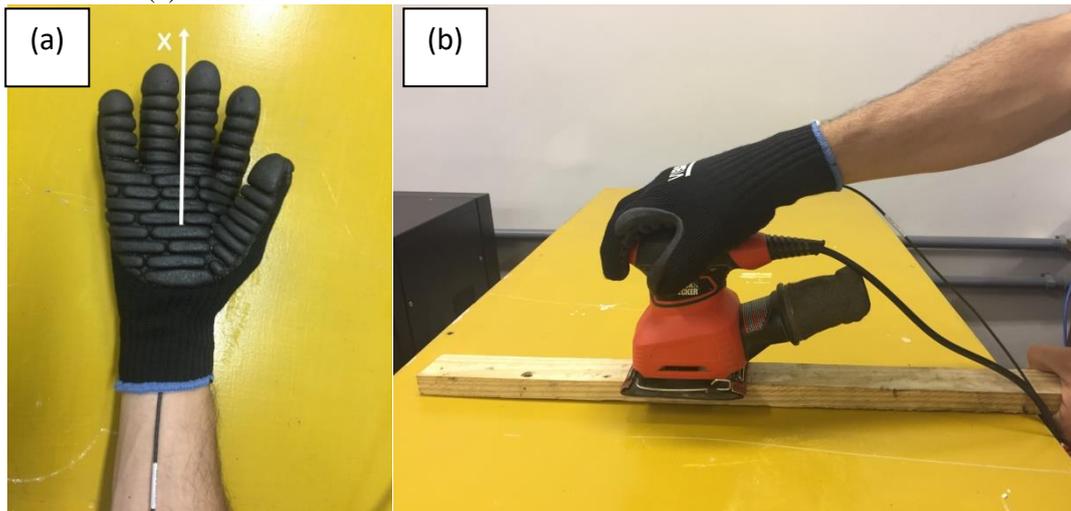
A norma NHO 10 apresenta considerações técnicas e a atuação recomendada em função da aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*).

Tabela 1. Julgamento e tomada de decisão (NH10,2013).

aren (m/s²)	Consideração técnica	Atuação recomendada
0 a 2,5	Aceitável	No mínimo, manutenção da condição existente
> 2,5 a < 3,5	Acima do nível de ação	No mínimo, adoção de medidas preventivas
3,5 a 5,0	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando a redução da exposição diária
acima de 5,0	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

A adoção de medidas preventivas compreende em ações que visam minimizar exposições à vibração. Incluem monitoramento da exposição e orientações aos trabalhadores. A adoção de medidas corretivas inclui a manutenção das ferramentas, redução do tempo de exposição diária, alternância de atividades, entre outros. Os cálculos referentes às equações descritas anteriormente foram realizados através de programação em MATLAB. Todas as acelerações consideradas neste trabalho são ponderadas em frequência em um terço de oitava, de acordo com a curva de ponderação *Wh* disponível no Anexo A da Norma ISO 5349-1:2001. Após a coleta de dados convencional, foi realizada a aquisição de dados com o uso de uma luva anti-vibração, sendo esta uma das medidas preventivas, como mostra a Fig. 6.

Figura 6. Fixação do acelerômetro à mão do operário com a luva anti-vibração.
 (a) Direção do eixo X. (b) Lixadeira durante uso.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que um trabalhador, em suas atividades diárias, realize o lixamento de uma peça de madeira a cada sete minutos, levando três minutos para a troca de peças, o mesmo estará trabalhando sob condições de exposição a aceleração resultante diária conforme segue a Tab. 2.

Tabela 2. Aceleração normalizada.

Item	Acelerômetro fixado na lixadeira			Acelerômetro fixado na mão sem luva absorvedora		
	Nº de peças	15	40	45	15	40
aren (m/s ²)	4,25	6,94	7,36	2,46	4,02	4,27

Com a utilização de luvas anti-vibração como medida preventiva, considerando as mesmas condições anteriores, o trabalhador estará sob condições de exposição a aceleração resultante diária conforme segue a Tab. 3.

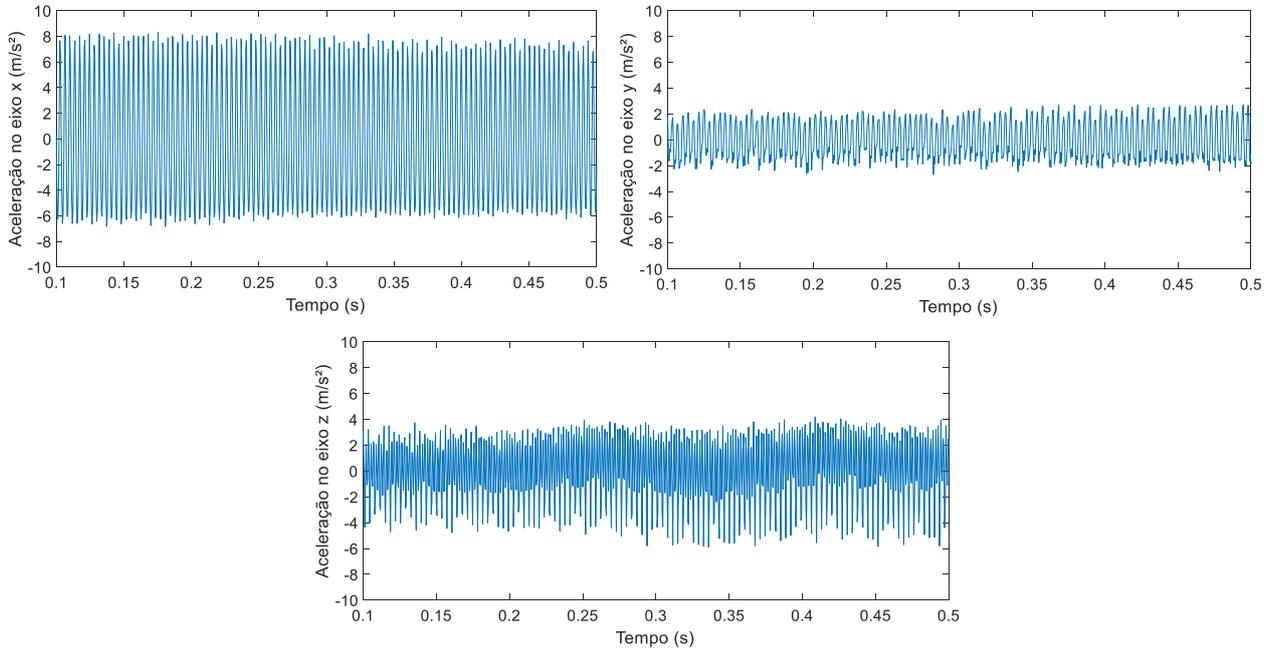
Tabela 3. Aceleração normalizada utilizando a luva anti-vibração.

Item	Acelerômetro fixado na mão com luva anti-vibração			
Nº de peças	15	30	40	45
aren (m/s ²)	1,75	2,48	2,66	3,04

Os valores obtidos (aren) nas medições com o acelerômetro fixado na lixadeira são significativamente maiores quando comparados aos valores na condição em que o acelerômetro é fixado na mão. Isto se deve ao fato da mão amortecer parte da vibração transmitida pelo equipamento. Comparando os valores obtidos nas medições com e sem a luva anti-vibração, utilizada como medida preventiva na absorção de vibrações, é possível constatar uma notável diferença para as mesmas condições de trabalho.

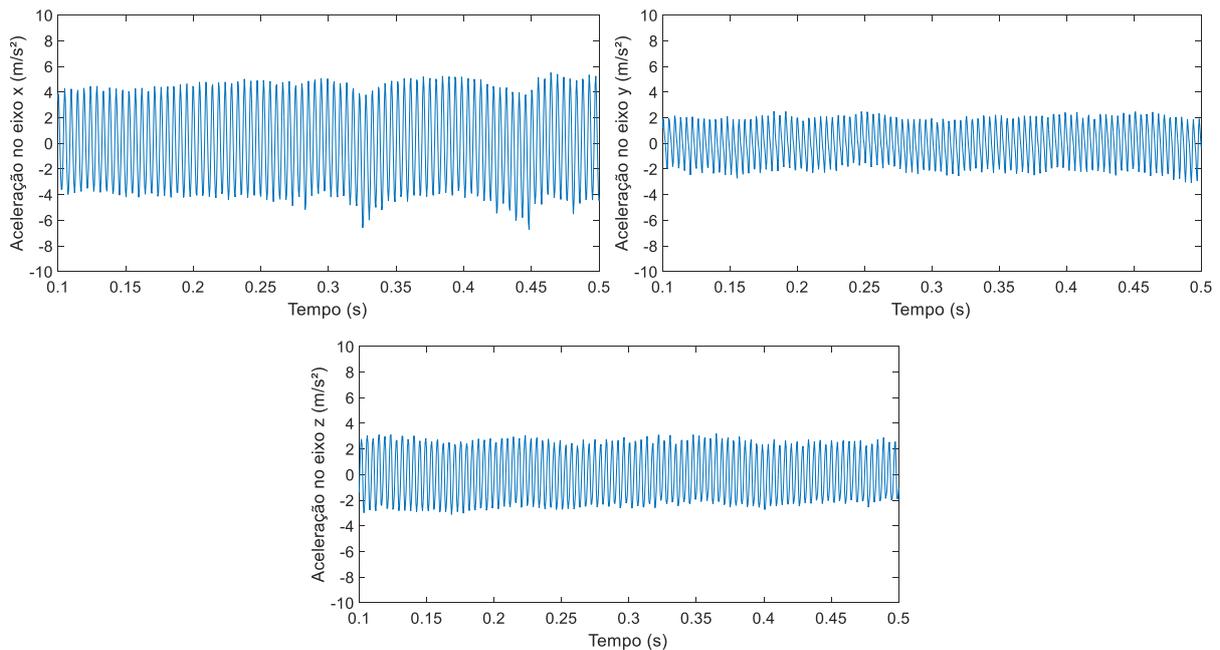
Na Fig. 7, tem-se a forma de onda dos sinais adquiridos sem a utilização da luva anti-vibração para as direções X, Y e Z respectivamente.

Figura 7. Forma de onda ponderada nas direções X, Y e Z sem uso de luva anti-vibração.



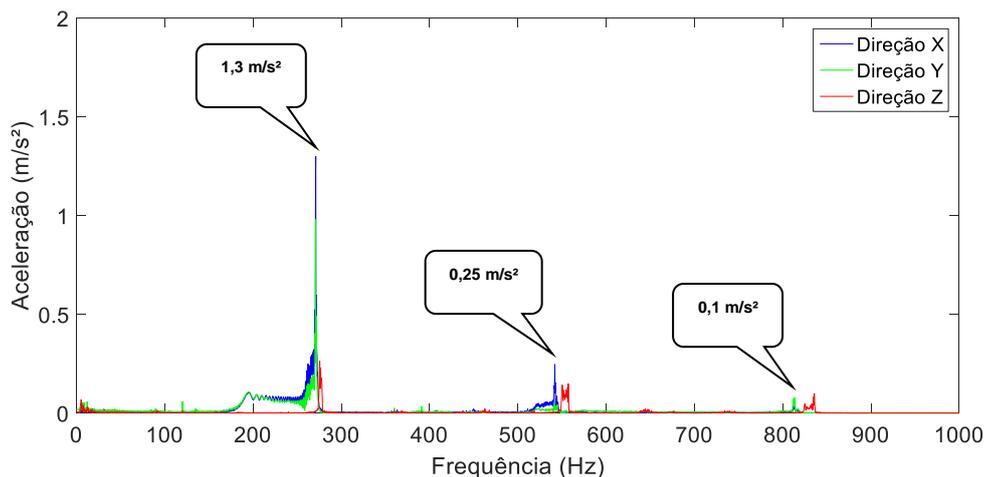
Na Fig. 8, tem-se a forma de onda dos sinais adquiridos com a utilização da luva anti-vibração para as direções X, Y e Z respectivamente.

Figura 8. Forma de onda ponderada nas direções X, Y e Z utilizando a luva anti-vibração.



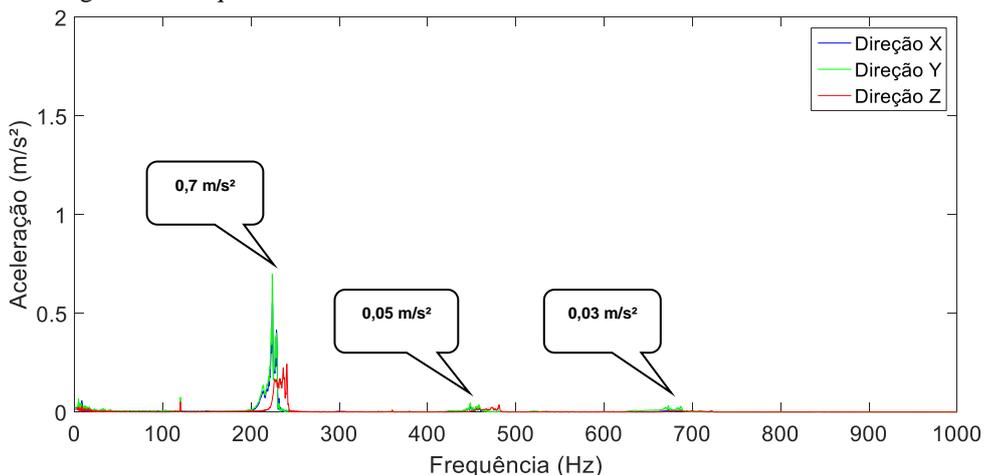
Na Fig. 9, tem-se o espectro de vibração dos sinais dos eixos X, Y e Z, mensurados sem a utilização da luva anti-vibração, após as devidas ponderações em frequência. Observa-se a presença de três componentes harmônicas sendo que estas correspondem às frequências de operação da lixadeira e não coincidem com as frequências naturais do membro (mão 30-50 Hz, braço 5-10 Hz, ombro 4-5 Hz) em contato com a mesma.

Figura 9. Frequências características da lixadeira nos três eixos sem o uso da luva.



Na Fig. 10, tem-se o espectro de vibração dos eixos X, Y e Z, mensurados com a utilização da luva anti-vibração, após as devidas ponderações em frequência. Nota-se que as componentes harmônicas foram atenuadas devido ao amortecimento da luva.

Figura 10. Frequência característica da lixadeira nos três eixos com uso da luva.



4 CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos no presente trabalho, é possível notar que a ferramenta em estudo gera vibrações de grande intensidade. Para uma análise mais precisa, foram realizadas medições na condição em que o acelerômetro está fixado na mão do operador, pois, conforme a norma, esta

condição é a que melhor retrata a exposição à qual o trabalhador fica realmente submetido, principalmente quando ocorrerem mudanças na posição das mãos em relação ao corpo da ferramenta. É possível notar que as frequências contidas nas vibrações apresentam componentes harmônicas acima de 200 Hz, sendo assim, não existe risco de ressonância com membros.

Os resultados apontam que uma pessoa poderá trabalhar sem prejuízos a saúde desde que não ultrapasse a exposição diária de 150 minutos, considerando o tempo de parada para troca de peças, limitado a trabalhar com 15 peças. Adotando como medida preventiva a utilização de luvas anti-vibração, é possível notar que a mesma tarefa pode ser realizada com o dobro do número de peças e tempo de exposição diária, dentro dos limites aceitáveis e sem prejuízos a saúde, que sugere uma grande redução dos níveis de aceleração resultante de exposição normalizada.

Com a utilização da luva anti-vibração, uma atividade antes classificada como “região de incerteza”, que recomenda medidas preventivas e corretivas, passa a ser classificada como “acima do nível de ação”, sendo suficiente a adoção de medidas preventivas como ação recomendada.

Uma vez conhecidos os níveis de vibração e seus possíveis danos a longo prazo sobre o corpo humano, torna-se extremamente importante reduzir a exposição ocupacional às vibrações por meio de medidas preventivas e corretivas, afim de manter as rotinas de trabalho em conformidade com as normas de higiene ocupacional vigentes, visando garantir o bem-estar, integridade física e capacidade laboral dos trabalhadores.

REFERENCIAS

Camissa, Mara Queiroga. Segurança e Saúde no Trabalho: NRs 1 a 37. 6ed. São Paulo: Método, 2019

Cunha, Irlon de Ângelo. Exposição ocupacional à vibração em mãos e braços em marmorarias no município de São Paulo: proposição de procedimento alternativo de medição. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Cunha, João Paulo Arantes Rodrigues; DUARTE, Marcus Antônio Viana; RODRIGUES, Jomara Cynthia. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo de solo. Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics), v. 39, n. 4, p. 348-355, 2009.

Gerges, S. N. Y. Ruído: Fundamentos e controle. 2. ed. Florianópolis: Nr Editora, 2000.

Giampaoli, Eduardo; Cunha, Irlon de Ângelo da. NHO 10–Procedimento Técnico-Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços. São Paulo: Fundacentro, 2012.

Guimarães, Nelson. Equipamentos de construção e conservação. Curitiba: UFPR, 2010.

ISO. Mechanical Vibration and Shock: Evaluation of Human Exposure to Wholebody Vibration. Part 1, General Requirements: International Standard ISSO 2631-1: 1997 (E). ISO, 1997.

ISO, ISO. 5349-1: Mechanical vibration-measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration-part 1: general requirements. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2001.

Rao, S. Vibrações Mecânicas. 4a.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

Saliba, T. M. Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração. São Paulo: LTR, 2014.

Santos Junior, Joubert Rodrigues dos; Benatti, André Luís. Gestão e indicadores em segurança do trabalho. São Paulo: Editora Érica, 2018.

Santos Junior. Joubert Rodrigues. NR-12- Segurança em Máquinas e equipamentos – Conceitos e Aplicações. 2ed. São Paulo: érica, 2019

Santos Junior. Joubert Rodrigues. NR-10- Segurança em eletricidade – Uma visão prática. 2ed. São Paulo: érica, 2018

Santos, Viviane Castro dos. Vibração ocupacional em trator 4x2 tda em função da pressão interna dos pneus e da superfície de rolamento. 2016. Dissertação de Mestrado.

Vendrame, A. C. Vibração ocupacional. 2006.