

ARTIGOS GERAIS

Limites de vibração de corpo inteiro no mundo

Whole body vibration limits in the world

Valdiney Camargos de Sousa

Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade Una, Contagem, MG.
<https://orcid.org/0000-0002-1395-4490>

RESUMO: O presente artigo realizou uma análise técnica dos limites e metodologias adotados para avaliação de vibração ocupacional de corpo inteiro em 56 países. O artigo também discute as metodologias e justificativas adotadas no Brasil para avaliar a vibração de corpo inteiro que difere da maioria dos países. A vibração constitui um fator de risco para a saúde nos ambientes ocupacionais se dá de forma total, ou seja, é transferida para todo o corpo. Devido aos diversos efeitos à saúde, atualmente 29% países possuem limites legais para a vibração de corpo inteiro. Quase a totalidade dos países adotam as metodologias e procedimentos da ISO 2631-1, mas não necessariamente adotam os valores do guia de orientação à saúde adotado em 1997. Os valores limites adotados mundialmente 67% estão acima do limite superior da zona de cautela para o método Root mean square (rms) que é o utilizado por 100% dos países, enquanto método adicional VDV é adotado por menos de 11%. A aceleração do pior eixo para avaliar o risco à saúde conforme determina o padrão ISO é adotado por 96,6% dos países. O Brasil adota a metodologia resultante que é a soma quadrática dos três eixos, mas não foram encontrados evidências que embasem tão escolha. Conclui-se que o Brasil deve revisar os limites adotados atualmente que são mais restritivos, mais não constitui maior proteção, pois os efeitos da vibração dependem de múltiplos fatores, que incluem, por exemplo, fatores ergonômicos da atividade laboral.

Palavras-chave: vibração ocupacional; legislação mundial; saúde; trabalho.

ABSTRACT: This article carried out a technical analysis of the limits and methodologies adopted for assessing occupational vibration of the whole body in 58 countries. The article also discusses the methodologies and justifications adopted in Brazil to assess the whole-body vibration that differs from most countries. Vibration is a risk factor for health in occupational environments if it occurs completely, that is,

it is transferred to the entire body. Due to various health effects, currently 29% countries have legal limits for whole body vibration. Almost all countries adopt the ISO 2631-1 methodologies and procedures, but do not necessarily adopt the values of the health guidance guide adopted in 1997. The values adopted worldwide 67% are above the upper limit of the caution zone for the Root mean square (RMS) method that is used by 100% of countries, while additional VDV method is adopted by less than 11%. The acceleration of the worst axis to assess the wealthy to health as determined by the ISO standard is adopted by 96.6% of the countries. Brazil adopts the resulting methodology, which is the quadratic sum of the three axes, but no evidence was found to support such a choice. It is concluded that Brazil should revise the limits currently adopted, which are more restrictive, but it does not constitute greater protection, since the effects of vibration depend on multiple factors, which include, for example, ergonomic factors of labor activity.

Keywords: occupational vibration; world legislation; health; job.

1. INTRODUÇÃO

A vibração é um movimento mecânico que oscila em torno de um ponto fixo, geralmente de referência, e caracteriza-se por transferir energia, mas não matéria (MANSFIELD, 2005). A propagação ocorre através de uma estrutura mecânica, que pode ser uma máquina, ferramenta ou mesmo uma pessoa, mas, se um acoplamento mecânico for perdido, a vibração não será mais propagada (MANSFIELD, 2005). Nos ambientes ocupacionais, a exposição à vibração se dá de forma total, ou seja, é transferida para todo o corpo (GRIFFIN, 1996), ou apenas local, transmitida para o sistema mãos e braços (GRIFFIN, 1996). Ao longo dos anos houve a preocupação com a saúde das pessoas expostas, devido aos possíveis danos provocados por esse fenômeno, isso motivou órgãos nacionais e internacionais de saúde e segurança ocupacional a reconhecer as vibrações como um fator de risco nos ambientes de trabalho. O Brasil através da Portaria SSMT¹ n.º 01 de 17/04/1980 considerou as vibrações e oscilações em trabalhos convés de navios como insalubres, incluindo assim essa atividade no título “Operações Diversas” do Anexo 15 da Norma Regulamentadora n.º 15 (NR 15) do Ministério do Trabalho (MTb ou MTE). Posteriormente o anexo 8 foi criado através da Portaria SSMT n.º 12/1983 com dedicação exclusiva para o tema vibração. Com a criação do anexo o Brasil passa a adotar os limites de exposição previstos no padrão ISO² 2631-1 ou suas substitutas. O

¹ Secretaria de Segurança e Medicina no Trabalho

² International Organization for Standardization - Organização Internacional de Normalização

referido padrão foi alterado em 1997, deixando então de definir limites de exposição e passa a conter apenas um guia em seus anexos para orienta os usuários sobre os possíveis efeitos à saúde. Essas alterações fazem com que o Brasil permaneça 17 anos sem um limite definido para vibração de corpo inteiro. Em 2014 o anexo 8 e alterado e uma nova redação é dada pela Portaria MTE n.º 1.297, as alterações compreendem a adoção das metodologias e limites definidos na norma de higiene ocupacional a Norma de Higiene Ocupacional (NHO) 09 editada pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo, de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO), neste mesmo ano a Norma Regulamentadora (NR 9) também sofre alterações e passa a conter um anexo dedicado ao assunto. Atualmente são 56 países adotam limites legais de exposição ocupacional para vibração de corpo inteiro. As métricas utilizadas para quantificar a vibração de corpo inteiro são definidas em termos de aceleração média ponderada o RMS (*Root Mean Square value*) e em valores de dose de vibração o VDV (*Vibration Dose Value*) que é o valor de aceleração na quarta potência acumulado, o mesmo é derivado do método RMQ (*Root Mean Quad*), mais sensível a picos (GRIFFIN, 1996). A vibração deve ser medida de acordo com um sistema de coordenadas originado em um ponto a partir do qual a vibração é considerada entrar no corpo humano (ISO, 1997).

2. OBJETIVOS

O presente artigo consiste em realizar uma análise técnica dos limites e metodologias adotados para avaliação de vibração ocupacional de corpo inteiro em 56 países. Os valores Limites de Exposição Ocupacional (LEO) e métodos adotados nos países foram comparados com o guia de efeitos à saúde presente no padrão ISO 2631-1, essa norma é adotada mundialmente para avaliar exposição humana a vibrações de corpo inteiro. O artigo também discute as metodologias e justificativas adotadas no Brasil para avaliar a vibração de corpo inteiro que difere da maioria dos países.

3. PADRÕES ADOTADOS

O padrão ISO 2631-1 é mundialmente utilizado para avaliar a exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro, conforme pode ser visto no quadro 1. Os preparativos desse padrão começaram em 1966 com a primeira versão da norma internacional intitulada "*Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration*". Esta norma foi republicada 1974 e em 1978 com alterações editoriais que incluem erros de tabelas e figuras. Uma série de emendas foi publicada na versão de 1982 e posteriormente uma combinação do conteúdo da versão de 1978 e as emendas na versão de 1982 foram republicadas em 1985 sob um novo título "*Assessment of*

human exposure to whole body vibration - Part 1: General requirements” (GRIFFIN,1996). As partes 1 e 3 da versão de 1985 permaneceram vigentes até meados de 1997 quando uma nova atualização foi publicada sob o título de “*Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements*”, cancelando a assim versão anterior de 1985. Em 2010 uma nova emenda foi publicada e que trouxe algumas correções no texto da versão de 1997, bem como inserções de notas, itens gráficos e o uso da exposição diária à vibração normalizada para um período de oito horas.

4. MÉTRICAS

As frequências adotadas para avaliação à vibração de corpo inteiro são de 0,5 Hz a 80 Hz. Os efeitos não são iguais em todas as frequências. Para equalizar a probabilidade de dano nas diferentes frequências é usada uma ponderação de frequência (ISO, 1997; MARJANEN, 2010). Como resultado, a aceleração ponderada diminui quando a frequência aumenta (MARJANEN, 2010). Para vibração de corpo inteiro, duas ponderações de frequência diferentes são usadas, sendo uma a ponderação definida como W_d , que se aplica aos dois eixos laterais x e y, e outra a W_k , que se aplica à vibração vertical no eixo z (ISO,1997). As curvas de ponderação são mostradas na figura 1. O estudo da fisiologia está centrada na postura sentada e nos efeitos à coluna lombar, já que a norma reconhece que essa situação é a única em que foram feitas pesquisas satisfatórias (MARJANEN, 2010). Ao considerar os riscos para a saúde da vibração de corpo inteiro, um fator de multiplicação adicional deve ser aplicado aos valores de vibração de frequência ponderada. Para os dois eixos laterais (x e y), os valores de aceleração são multiplicados por 1,4 e para a vibração vertical do eixo z, o fator é 1,0 (ISO,1997).

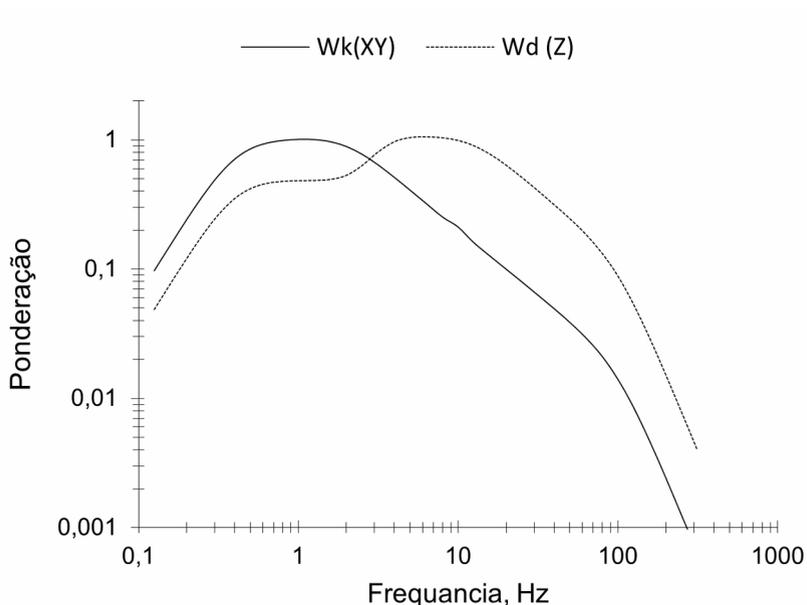


Figura 1: Ponderações de frequência aplicadas à saúde fornecidas pela ISO 2631-1 para medição de vibração de corpo inteiro em um assento (ISO, 1997)

Os principais métodos utilizados mundialmente para avaliar a exposição à vibração de corpo inteiro são:

Root mean square (RMS)

O método básico para avaliar a vibração é o RMS. É uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável. É especialmente útil para calcular a média de valores que são positivos e negativos (por exemplo, sinal de aceleração), pois o método pondera cada valor como positivo e é calculado através da fórmula (GRIFFIN, 1996; ISO, 1997; MANSFIELD, 2005; LUKMAN, 2019):

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

Assim, a_w é a aceleração eficaz média ponderada, expressa em m/s^2 , dos diversos valores da aceleração instantânea ponderada $a_w(t)$ (translacional ou rotacional), ocorridos durante um período de medição T em segundos na direção escolhida, que corresponde a um dos eixos ortogonais x , y ou z (ISO, 1997).

Vibration dose value (VDV)

O método VDV adicional é utilizado quando os sinais de vibração contêm choques eventuais ou intermitentes. O valor de aceleração é calculado para o quarto de potência. Diferentemente do R.M.S não é aplicada uma média, sendo portanto cumulativo. Valores mais altos são mais enfatizados nestas circunstâncias (GRIFFIN, 1996; ISO, 1997; MANSFIELD, 2005), e é obtido através da fórmula:

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} [m \cdot s^{1,75}] \quad (2)$$

O VDV é oferecido como um método robusto em avaliar a gravidade de todos os movimentos (determinísticos ou aleatórios, estacionários ou não estacionários, transitórios ou choques) que estão acima do limiar de percepção e se enquadram na faixa de frequência do método de análise (GRIFFIN, 1996). Além disso, o VDV é um valor acumulado e é alcançado matematicamente somando, ou seja, integrando a quarta potência da aceleração ponderada em frequência (GRIFFIN, 1996). Quando a exposição à vibração consiste em dois ou mais períodos i , de diferentes magnitudes, o valor da dose de vibração para a exposição total deve ser calculado a partir da quarta raiz da soma da quarta potência dos valores individuais da dose de vibração, conforme a fórmula:

$$VDV_{total} = \left(\sum_i VDV_i^4 \right)^{\frac{1}{4}} [m \cdot s^{1,75}] \quad (3)$$

Outros métodos adicionais utilizados para avaliar a vibração

O padrão da International Organization for Standardization (ISO) traz ainda mais dois métodos adicionais para avaliar sinais complexos que contenham choques eventuais ou intermitentes, são eles:

Norma ISO 2631-5: 2018

Este padrão estima as forças espinhais internas para dois regimes de exposição diferentes. Um é denominado regime de condições severas (exposição onde os operadores perdem contato com a superfície do assento e são dominados por acelerações nas direções z e o outro é para condições menos severas (exposição sem eventos de queda livre e onde os sujeitos permanecem sentados ao longo das medições). Ambos os métodos são baseados no cálculo da dose compressiva diária S_d^A e do fator de risco (R^A) (DE LA HOZ-TORRES, 2019; ISO, 2018).

Maximum Transient Vibration Value (MTVV)

O método “*Running RMS method*” leva em consideração choques ocasionais e vibração transitória pelo uso de uma constante de tempo de integração curta. A magnitude da vibração é definida como um valor máximo de vibração transiente (MTVV), dado como o máximo no tempo de $a_w(t_0)$ definido como:

$$a_w(t_0) = \left[\frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} [m \cdot s^{-2}] \quad (4)$$

Onde, $a_w(t)$ é a frequência instantânea ponderada aceleração; τ é o tempo de integração para executar médias; t é o tempo (variável de integração); t_0 é a hora de observação (tempo instantâneo).

Mensuração da Vibração

Os valores de aceleração utilizados para os cálculos de a_w e VDV são obtidos utilizando se um transdutor/acelerômetro montado sobre o assento do banco do operador como recomendação da European Committee for Standardization (ECS) e da British Standards Institution (BSI) (EN, 2003; GRIFFIN, 1996; BSI, 1987; MANSFIELD, 2005). O acelerômetro deve ser montado no centro de um disco semirrígido de borracha ou plástico, com diâmetro aproximado de 250 mm \pm 50 mm e fixados a um disco fino de metal, com espessura de 1,5 mm \pm 0,2 mm e diâmetro de 75 mm \pm 5 mm (ECS, 1994). Esse disco deve ser instalado no assento ou no encosto do banco do operador, conforme apresentado na Figura 2, e deve estar localizado no meio do caminho entre as tuberosidades isquiáticas do ocupante do assento (ECS, 1994), demonstrado na Figura 3.

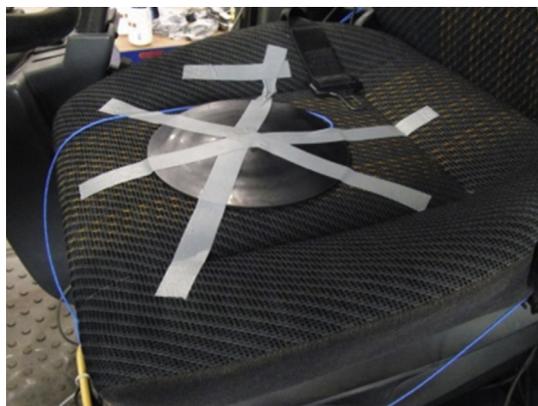


Figura 2: Acelerômetro montado sob o assento do operador (Retirado de ZHAO e SCHINDLER, 1994)

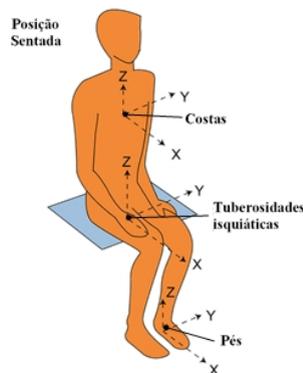


Figura 3: Localização do acelerômetro (Adaptado de JOHANNESSON, 2016)

5. AVALIAÇÃO DOS EFEITOS À SAÚDE

A avaliação do efeito de uma vibração na saúde deve ser feita independentemente ao longo de cada eixo. A avaliação da vibração deve ser feita em relação à aceleração ponderada por frequência mais alta, determinada em qualquer eixo do disco do banco. A avaliação da exposição à vibração pode ser baseada no cálculo da exposição diária à vibração $A_I(8)$, expressa como aceleração contínua equivalente durante um período de 8 horas (GRIFFIN *et al.*, 2008; ISO, 1997), sendo calculada como:

$$A_I(8) = k_I \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_i a_{wIi}^2 T_i} \quad [m \cdot s^{-2}] \quad (5)$$

Neste caso, $A_I(8)$ é a aceleração normalizada na direção I (que equivale a x, y ou z), calculada para um tempo padrão exposição de referência T_0 , que corresponde a 28800 segundos, ou 8 horas. A soma na equação significa que podem ser somados vários períodos de tempo T_i equivalentes, sendo que em cada um deles tem-se uma aceleração média ponderada por frequência a_{wIi} no I-ésimo eixo. Os fatores k_x , k_y e k_z são os mesmos utilizados na equação (6). A métrica $A_I(8)$ permite avaliar a exposição em qualquer período de tempo e comparar o valor normalizado com um único valor limite para um dia típico de trabalho. A norma orienta que, caso dois ou mais eixos apresentem valores próximos, a aceleração média resultante (a_v) pode ser

usada de forma adicional para estimar o risco à saúde, sendo ela a soma quadrática das acelerações a_w de cada um dos eixos similares (ISO, 1997):

$$a_v = \sqrt{(k_x a_{wx})^2 + (k_y a_{wy})^2 + (k_z a_{wz})^2} [m \cdot s^{-2}] \quad (6)$$

na qual os fatores ponderadores são $k_x = k_y = 1,4$ e $k_z = 1$.

Nada é dito sobre as circunstâncias em que faz sentido usar essa estimativa adicional, ou seja, a norma não define o quanto deve ser essa similaridade para que seja aplicado a soma quadrática dos eixos. Já o item 6.4 na Norma EN 1032:2009 define que um eixo é dominante em uma direção de vibração se o valor RMS da aceleração ponderada em frequência em cada uma das outras direções de vibração é menos de 66% do valor na direção dominante de vibração, para as direções x e y o valor comparável já deve estar multiplicado pelo fator 1,4 (NATALETTI *et al.*, 2019). O instituto, italiano, Istituto Nazionale per L'assicurazione Contro Gli infortuni Sul Lavoro (INAIL) recomenda uma metodologia aproximadamente equivalente à condição exigida no item 6.4 da Norma EN 1032:2009. O método consiste nos seguintes passos para definir o eixo dominante:

- 1) os três valores axiais da exposição diária às vibrações $A_x(8)$, $A_y(8)$, $A_z(8)$, sendo calculados conforme equação 5.
- 2) a exposição diária à vibração resultante $A_v(8)$ obtida com uso do valor resultante obtido na equação 6 e calculado conforme a equação 5.
- 3) se a desigualdade é satisfeita para um dos três eixos (NATALETTI *et al.*, 2019);

$$A_I(8) > A_v(8)$$

estamos na presença de um eixo dominante, sendo $I = x, y$ ou z .

Os métodos sugeridos parecem não considerar a dependência de tempo na análise do eixo dominante. Quando se trata de comparar valores de aceleração entre eixos ou mesmo entre eixo e valor da resultante, deve se considerar a dependência de tempo. A dependência de tempo é definida como a relação entre a magnitude e duração de vibração (BSI, 1987). Isso faz sentido porque a dependência de tempo não é linear e sim quadrática, um aumento de 41,4% no valor de vibração linear equivale a dobrar a “energia” permitida e conseqüentemente decair o tempo limite de exposição pela

metade no caso do RMS e para VDV o valor quadruplica, para exemplificando essa importância temos:

$$A_z(8) = 1,2 \text{ m/s}^2 \quad A_x(8) = 0,814 \text{ m/s}^2 \quad A_y(8) = 0,751 \text{ m/s}^2$$

Aplicando o método definido na Norma EN 1032:2009, onde valores inferiores a 66% não será considerado na soma quadrática da resultante.

$$\frac{A_x(8)}{A_z(8)} = \frac{0,814}{1,2} \times 100 = 70,8\%$$

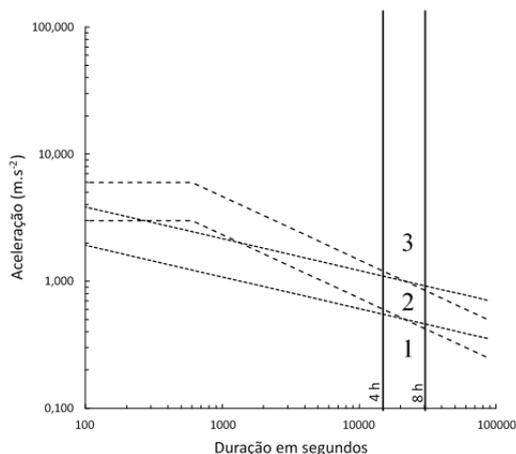
$$\frac{A_y(8)}{A_z(8)} = \frac{0,751}{1,2} \times 100 = 65,3\%$$

Quando aplicamos análise de forma linear sem observar a dependência de tempo de 3dB definida para vibração RMS no primeiro momento podemos entender que o eixo x e z devem ser somados. Considerando a dependência de tempo na verdade o eixo x corresponde 46% e o y equivale a 39%, portanto o eixo dominante é o z, e deve ser comprado com o limite legal. Para o método do instituto INAIL um dos eixos só seria dominante se o valor dos demais fosse inferior a 20% dele, considerando neste caso a dependência de tempo.

6. LIMITES DE EXPOSIÇÃO NO MUNDO

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) são 193 países no mundo, se considerar essa base podemos afirmar que 29 %, ou seja, 56 países possuem limites de exposição ocupacional para vibração. O método de aceleração média ponderada (RMS) é o preferido mundialmente para avaliar a exposição a vibração de corpo inteiro, sendo adotado por 100% dos países, na forma de aceleração total ou por frequência, como apresentando no quadro 1. O método adicional VDV apesar de descrito no padrão ISO é adotado por menos de 11% dos países de forma adicional ou opcional. Alguns países adotam também de forma adicional limites mais restritivos para o eixo z e/ou limites curta duração, teto e até médias semanais. A partir de 1997 foi inserido o Anexo B na Norma ISO 2631-1, que contém um guia de orientação para efeitos à saúde. O guia apresentado no anexo do padrão ISO mencionado consiste em um gráfico log-log de aceleração versus tempo que apresenta três zonas de orientação, que são de efeitos à saúde não presumido (1), de cautela (2) e provável (3), que podem ser observadas na Figura 4. O valor limite superior da zona de cautela, proposto pelo American Conference of Governmental Industrial Hygienists

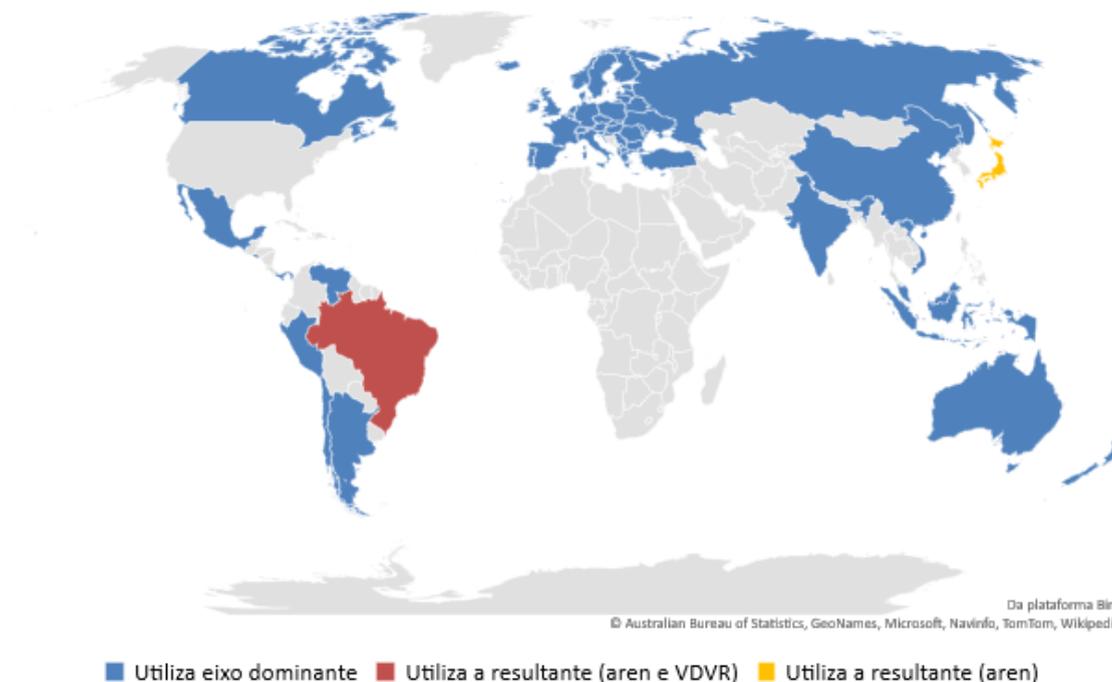
(ACGIH), que antecede a zona de risco provável para a saúde é de $0,866 \text{ m/s}^2$ (ACGIH, 2020), quando comparamos os limites adotados nos diversos países com esse valor, vemos que 67,2% excedem esse valor. Para os países que adotam o método adicional VDV, 83,3% deles estão acima do limite superior de $17 \text{ m/s}^{1,75}$ adotado no padrão ISO. A norma ainda define que os riscos à saúde devem ser avaliados considerando o maior valor de aceleração encontrado em qualquer uma das direções (x, y ou z) no banco do operador.



Com relação ao cumprimento desde item da norma, 96,6% dos países cumprem o definido. Apenas Brasil e Japão utilizam a aceleração resultante calculada conforme equação 6. Para comparar com seus limites adotados, o Brasil também adota esse método para o VDV como pode ser visto do gráfico 1.

Gráfico 1 – Prevalência internacional de parâmetros de aceleração para o eixo dominante

Limites de vibração de corpo inteiro no mundo



Quadro 1 – Limites de vibração de corpo inteiro no mundo

País	Aceleração (a_w)	Valor de Dose de Vibração (VDV)	Padrão Adotado
Albânia	1,15 m/s^2	-	ISO 2631-1:1997
Alemanha	0,8 m/s^2 (Z) 1,15 m/s^2 (X e Y)	-	ISO 2631-1:1997
Argentina	Por bandas de 1/3 de oitava	-	ISO 2631-1:1985
Austrália	1,15 m/s^2	-	AS2670 - 2001*
Áustria	1,15 m/s^2	-	ISO 2631-1:1997
Bélgica	1,15 m/s^2	-	ISO 2631-1:1997
Bielorrús	Por bandas de 1/3 de	-	Não informado

sia	oitava		
Brasil	1,1 m/s ²	21 m/s ^{1,75}	NHO 09
Bulgária	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Canadá	0,866 m/s ²	17 m/s ^{1,75}	ACGIH*
Chile	0,63 m/s ² (Z) 0,45 m/s ² (X e Y)	-	Não informado
China	Por bandas de 1/3 de oitava	-	Não informado
Chipre	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Croácia	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Dinamarca	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
El Salvador	0,63 m/s ² (Z) 0,45 m/s ² (X e Y)	-	Não informado
Eslováquia	1,15 m/s ²	-	STN ISO 2631-1: 1999*
Eslovênia	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Espanha	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Estônia	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:2002 EVS-EN 14253:2004
Finlândia	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
França	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Grécia	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Hungria	1,15 m/s ²	-	MSZ ISO 2631- 1:2002*
Índia	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Indonésia	0,8661 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Irlanda	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Islândia	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997

Limites de vibração de corpo inteiro no mundo

Itália	1 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Japão	0,35 m/s ²	-	JIS B 7760-22004*
Kosovo	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Letônia	1,15 m/s ²	21 m/s ^{1,75}	LVS ISO 2631-1:2003*
Liechtenstein	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Lituânia	Por bandas de 1/3 de oitava	-	LST ISO 2631-1:2004*
Luxemburgo	1,15 m/s ²	21 m/s ^{1,75}	ISO 2631-1:1997
Macedônia	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Malásia	Por bandas de 1/3 de oitava	-	ISO 2631-1:1985
Malta	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
México	Por bandas de 1/3 de oitava	-	ISO 2631-1:1985
Moldávia	1,15 m/s ²	21 m/s ^{1,75}	ISO 2631-1:1997
Noruega	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Nova Zelândia	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Países Baixos	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Panamá	Por bandas de 1/3 de oitava	-	ISO 2631-1:1985
Peru	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Polônia	0,5 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Portugal	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Reino Unido	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997

República Tcheca	0,1 m/s ² (Z) 0,5 m/s ² (X e Y)	-	Não informado
Romênia	1,15 m/s ²	21 m/s ^{1,75}	SR ISO 2631-1:2000*
Rússia	Por bandas de 1/3 de oitava	-	Não informado
Sérvia	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Suécia	1,1 m/s ²	-	SS-ISO 2631-1:1998
Suíça	0,8 m/s ² (Z)	-	ISO 2631-1:1997
Turquia	1,15 m/s ²	-	ISO 2631-1:1997
Ucrânia	Por bandas de 1/3 de oitava	-	Não informado
Venezuela	Por bandas de 1/3 de oitava	-	ISO 2631-1:1974
Vietnã	Por bandas de 1/3 de oitava	-	Não informado

Fonte: legislação der cada país

* Padrão idêntico à ISO 2631-1997

7. LIMITES DE EXPOSIÇÃO E MÉTODOS ADOTADOS NO BRASIL

O Brasil após ficar por 17 anos sem um limite exposição definido na legislação disponibilizou em dezembro de 2013 para consulta pública através da Portaria SIT n.º 413/2013, o texto base de alteração do anexo 8 da NR 15. Nos dias 12 e 13 de fevereiro de 2014 uma audiência pública referente a revisão dos Anexos 8 (vibração) e 3 (calor) da NR 15 - Atividades e Operações Insalubres, foi realizada em São Paulo. Esse evento tinha por objetivo, promover o debate com especialistas, representantes governamentais, de trabalhadores e de empregadores, permitindo ampla participação da sociedade no processo de revisão dos Anexos. No evento foram apresentadas justificativas para adoção dos métodos e limites adotados pela Norma de Higiene Ocupacional (NHO) 09 e sugeridos no draft das alterações do anexo 8. As justificativas foram apresentadas utilizando-se trechos dos relatórios do projeto “Risks of

Occupational Vibration Exposures (VIBRISKS)”. As argumentações foram apresentadas em um arquivo intitulado “Indicadores para Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações: Estudos Envolvendo Limites de Exposição e Relações Dose-Resposta” cujos trechos, apresentados, foram retirados dos anexos 13, 15 e 19, além de outros trechos retirados de diferentes partes desses anexos, como discussão e introdução. O Brasil adotou, portanto, os valores de resultante normalizados de $1,1 \text{ m/s}^2$ e $21 \text{ m/s}^{1,75}$ de aceleração e dose respectivamente. Para que o valor da resultante de aceleração se mantenha dentro do limite adotado, os valores individuais de cada eixo devem ser $\leq 0,635 \text{ m/s}^2$. Um valor equivalente a esse correspondeu à proposta original do limite estabelecido pela União Européia (UE). Durante as discussões no Grupo de Trabalho de Questões Sociais, isso se mostrou inatingível em muitas atividades de trabalho, e como consequência o limite foi elevado para $1,15 \text{ m/s}^2$ da $A_w(8)$ na versão final acordada da Diretiva (NELSON e BRERETON, 2005). Quando a aceleração resultante (a_{ren}) é utilizada nos estudos, um aumento no resultado de até 73% em comparação com eixo dominante é encontrado, e consequentemente o tempo máximo permitido de exposição reduz drasticamente (GRIFFIN, 1998).

O que foi e quais os objetivos do Vibrisks?

O *Vibrisks* foi um grupo composto por especialistas de universidades e empresas, bem como membros representantes do governo em países europeus. O principal objetivo era melhorar a compreensão dos riscos de lesões decorrentes da exposição à vibração transmitida pelas mãos e de corpo inteiro no trabalho por meio de estudos epidemiológicos multinacionais, apoiados por pesquisas laboratoriais fundamentais e modelagem biodinâmica, além de outros como:

- Contribuir para uma base científica de decisões políticas sobre a adequação das medidas preventivas em vigor e as despesas com a prevenção.
- Fornecer orientação sobre vigilância da saúde que pode ser aplicada por trabalhadores de saúde ocupacional em toda a Europa para a minimização do risco - prevenção primária -, a triagem de trabalhadores expostos e a gestão de indivíduos que apresentam sintomas de lesões por vibração transmitidas pelas mãos - prevenção secundária -.
- Ajudar a indústria, reduzindo os custos sociais e econômicos associados a distúrbios.

Os estudos foram norteados por protocolos epidemiológicos e aconteceram de 2003 a 2006. Foram utilizados doses e métodos alternativos para investigar a vibração de corpo inteiro bem como de mãos e braços, inclusive a resultante tanto para o método RMS como para o VDV. As conclusões dos estudos realizados no período pelos parceiros do grupo foram que:

- Os resultados têm implicações para a Diretiva de Agentes Físicos (Vibrações) da UE e o desenvolvimento de novos padrões. No entanto, o assunto é muito complexo e há muitas implicações associadas a qualquer mudança nos procedimentos atuais.
- Mais pesquisas sobre vibração transmitida através das mãos e de corpo inteiro serão necessárias antes que mudanças específicas possam ser recomendadas com segurança.

Estudos epidemiológicos

Ao longo dos anos inúmeros estudos epidemiológicos para investigar os efeitos à saúde de pessoas expostas à vibração de corpo inteiro, foram realizados em diferentes países do mundo e por diferentes autores. A vibração ocupacional tem sido associada com aumento de dor lombar e ciática, dor no pescoço e ombros. A vibração de corpo inteiro com outros fatores ergonômicos pode induzir a dores musculoesqueléticas em trabalhadores. Também está associada à compressão de disco quando a exposição produz picos, fadiga, enjôo e impactos irradiados ao pescoço e cabeça) e desenvolvimento de várias doenças crônicas como cardiopatias vasculares, diabetes tipo II ou distúrbio hormonal e câncer de próstata (BURSTRÖM, NILSSON e WAHLSTRÖM, 2015; KRAJNAK, 2018). Tomando como base as revisões epidemiológicas recentes, como a apresentando por Wahlström (2018) na sétima edição da American Conference on Human Vibration, pode ser visto, na análise, que aproximadamente 50% dos trabalhos que compõe a revisão utilizam o valor da resultante de aceleração e os outros 50% utiliza o eixo dominante. Essa mesma característica mista pode ser observada em grandes revisões como as de Seidel e Heide, (1986), Griffin (1982), Dupuis e Zerlett (1986) e Hulshof e Van Zanten (1987). Estas são as quatro revisões mais extensas realizadas (WIKSTROM, KJELLBERG e LANDSTROM, 1994). Além disso, a própria ISO 2631-1 possui em suas referências essa característica, pautando-se os trabalhos tanto na resultante como no eixo dominante. Normalmente os trabalhos epidemiológicos de vibração de corpo inteiro utilizam o método *Odds Ratio* (OR) com objetivo de avaliar a associação entre as variáveis “fator de risco” e “desfecho”. Para isso são definidos grupos de casos - com desfecho - e outro de controles - sem desfechos -. E avalia-se a exposição progressa a

potenciais fatores de risco nestes grupos (WAGNER e CALLEGARI-JACQUES, 2020). Para avaliar os “desfechos” da exposição à vibração de corpo inteiro os dados são apresentados em forma de dose na segunda potência ou de quarta potência, tanto para o eixo dominante quanto para a resultante. Quando a aceleração resultante é utilizada nos estudos, um aumento linear no resultado de até 73% em comparação com eixo dominante é encontrado, conseqüentemente o tempo máximo permitido de exposição reduz drasticamente (GRIFFIN, 1998). Com essas características mais restritivas a resultante tem apresentado associação mais forte a desfechos de lombalgias e dores nas costas (BOVENZI *et al.*, 2006). Outros estudos equivalentes não apontam essa associação e relacionam a lombalgia a outros fatores (TIEMESSEN, HULSHOF e FRINGS-DRESEN, 2008). O eixo dominante na direção z e na forma de dose de segunda potência, $(A8, \sum [a_{wsi}^m t_1])$ também tem sido associado a desfechos de lombalgias e dores nas costas além outros fatores relacionados à saúde (BOVENZI, 1992, 2010, 2009; LUKMAN, JEFFREE e RAMPAL, 2019; BAIG, *et al.*, 2014; BARRETO *et al.*, 2019; HOY *et al.*, 2005). Pouco se pesquisou sobre a resposta à coluna vertebral sujeita a diferentes orientações em situações fora dos três eixos cartesianos, ou seja a múltiplos eixos (HILL, DESMOULIN e HUNTER, 2009; HOLMLUND e LUNDSTRÖM, 2001). Algumas idéias sobre a relação entre vibrações verticais e laterais foram fornecidas por estudos que validam os regulamentos da Norma ISO 2631 que envolvem vibrações aplicadas ao corpo humano (HOLMLUND e LUNDSTRÖM, 2001). Investigações sobre a influência de vibrações verticais na direção horizontal e na incidência de aceleração rotacional, foram conduzidas aplicando frequências sinusoidais entre dois e 15 Hz. Os resultados confirmam a incidência, mas não houve ressonância (HOLMLUND e LUNDSTRÖM, 2001). Os parâmetros como frequência, amplitude e duração da exposição, além de fatores relacionados, incluindo o eixo dominante e o estado das estruturas anatômicas circundantes à coluna vertebral, devem ser examinados separadamente (HOLMLUND e LUNDSTRÖM, 2001). Deve-se ter cautela na interpretação de estudos epidemiológicos, pois existem muitas limitações decorrentes de fatores como o desenho do estudo, a escolha da população do estudo, o tamanho da amostra, o tipo de pergunta, a taxa de resposta e o grande número de fatores que podem influenciar a dor nas costas (GRIFFIN e GALLAIS, 2006). Os estudos epidemiológicos devem levar em consideração os fatores de risco em potencial, incluindo postura, duração da condução, sentar-se enquanto “não dirige”, exposição a vibrações do corpo inteiro, fatores de risco individuais, fatores de risco físicos e fatores de risco psicossociais, que podem estar associados à dor lombar em motoristas. É improvável que os dados de impedância mecânica de eixo único possam ser transferidos diretamente para um ambiente de múltiplos eixos. Isso se deve à interferência da força entre as diferentes direções (HOLMLUND e LUNDSTRÖM, 2001).

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A partir da análise de técnica científica dos limites de exposição ocupacional adotados mundialmente, bem como dos padrões adotados e suas referências técnicas, podemos chegar às seguintes conclusões:

1. A vibração de todo o corpo constitui um fator risco nos ambientes laborais, mas não existe uma dose resposta segura.
2. Países que adotam níveis de ação $\leq 0,5 \text{ m/s}^2$ tem respaldos científico para a proteção dos trabalhadores.
3. O uso da resultante de forma complementar ao eixo dominante pode contribuir para um melhor monitoramento da saúde dos expostos e é perfeitamente adequado, conforme preconiza a norma.
4. Os limites de exposição ocupacional brasileiro apesar de diferir da maioria dos países, cumprem o papel de proteção dos trabalhadores.
5. O controle de lombalgias e dores nas costas de trabalhadores expostos à vibração de corpo inteiro não deve se amparar apenas à redução dos níveis de vibração, mas também em condições ergonômicas dos expostos.
6. Em algumas máquinas ou atividades com eixo dominante de direção z pode ser mais significativa e o risco pode ser estimado a partir dessa direção. Em outras situações a aceleração no eixo x ou y podem ser altos às vezes semelhantes ao z, neste caso as diferenças entre o resultante e o eixo dominante pode ser significativa.
7. Países que adotam de forma complementar o método ISO 2631-5 (2018), VDV, limites de aceleração mais restritivos para vibrações na direção z, limites de curta duração ou teto, constituem práticas adequadas para a redução de condições que podem comprometer a saúde do trabalhador.
8. As métricas de aceleração ou VDV adotadas como eixo dominante ou resultante são medidas de vibração externa e podem refletir apenas parcialmente o estresse dinâmico interno na coluna lombar causado por vibração de corpo inteiro. Além disso as medições diárias podem não ser suficientes para prever a probabilidade de distúrbios lombares, que são condições crônicas e que levam vários anos para se manifestar (BOVENZI, e SCHUST, 2021). Apesar das suas limitações, os

recentes estudos de *Coorte* prospectivos demonstraram que as métricas de exposição cumulativa à vibração com base interna, baseada na força, foram as melhores preditores de resultados de lombalgia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). **TLVs e BEIs: baseados na documentação dos limites de exposição ocupacional (TLVs) para substâncias químicas e agentes físicos & índices biológicos de exposição (BEIs).**, 2020.

BAIG, H.A., *et al.* **Characterization of the Frequency and Muscle Responses of the Lumbar and Thoracic Spines of Seated Volunteers During Sinusoidal Whole Body Vibration.** J Biomech Eng. 2014. Oct;136(10):101002. doi: 10.1115/1.4027998.

BARRETO, L. H. *et al.* **Whole-body vibration and back pain-related work absence among heavy equipment vehicle mining operators.** Occup Environ Med 2019; 76:554–559. doi:10.1136/oemed-2019-105914.

BOVENZI, M. **Metrics of whole-body vibration and exposure–response relationship for low back pain in professional drivers: a prospective cohort study.** Int Arch Occup Environ Health . 2009 Jul;82(7):893-917. doi: 10.1007/s00420-008-0376-3. Epub 2008 Oct 25.

_____. **A Longitudinal Study of Low Back Pain and Daily Vibration Exposure in Professional Drivers.** Industrial Health, v. 48, n. 5, p. 584–595, 2010.

_____. *et al.* **An Epidemiological Study of Low Back Pain in Professional Drivers.** Nov. 2006 Journal of Sound and Vibration 298(3):514-539. DOI: 10.1016/j.jsv.2006.06.001"

BOVENZI, M.; SCHUST, M. **A prospective cohort study of low-back outcomes and alternative measures of cumulative external and internal vibration load on the lumbar spine of professional drivers.** Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, v. 47, n. 4, p. 277–286, 1 maio 2021.

BOVENZI, M., ZADINI A. **Sintomas lombares autorreferidos em motoristas de ônibus urbanos expostos a vibrações de corpo inteiro.** Spine (Phila Pa 1976). 1992 Sep;17(9):1048-59. doi: 10.1097/00007632-199209000-00007.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS 6841 Guide to Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock.** [S.l.]: British Standards Institution, 1987.

BURSTRÖM, L., NILSSON T., WAHLSTRÖM J. **Whole-body vibration and the risk of low back pain and sciatica: a systematic review and meta-analysis.** International Archives of Occupational and Environmental Health volume 88, pages 403–418. 2015.

DE LA HOZ-TORRES, M. L. *et al.* **A Comparison of ISO 2631-5:2004 and ISO 2631-5:2018 Standards for Whole-Body Vibrations Exposure: A Case Study.** In: AREZES, P. M. *et al.* (Eds.). Occupational and Environmental Safety and Health. Cham: Springer International Publishing, 2019. v. 202p. 711–719.

EUROPEAN COMMISSION (EC). **FP5 Project n.º QLK4-2002-02650 - The Risks of Occupational Vibration Exposures (VIBRISK) Project.** Disponível em: <<http://www.vibrisks.soton.ac.uk/>>.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 30326-1-Mechanical vibration - Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration - Part 1: Basic requirements - Amendment 1 (ISO 10326-1:1992/Amd 1:2007),** 1994.

_____. **EN 14253 – Mechanical vibration — Measurement and calculation of occupational exposure to whole-body vibration with reference to health — Practical guidance.** [S.l.]: Comité Europeu de Normalização, 2003.

GRIFFIN, M. J. **Handbook of human vibration.** 1st. print. paperback ed. ed. London: Acad. Press, 1996. OCLC: 39151533. ISBN 9780123030405 9780123030412.

_____. **Predicting the -Considerations Hazards of Whole-Body of a Standard.** Industrial Health 1998, 36, 83-91.

GRIFFIN, M. J., GALLAIS, L. **Low back pain in car drivers: A review of studies published 1975 to 2005.** Journal of Sound and Vibration 298 (2006) 499–513.

GRIFFIN, M. J.; PITTS, P. M.; DONATI, P.; BERETON, P. **Guide to good practice on Whole-Body Vibration.** Institute of Sound and Vibration Research University of Southampton, U.K., 2008. Disponível em: <http://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/VIBGUIDE/2008_11_08%20WBV_Good_practice_Guide%20v6.7h%20English.pdf>.

HILL, T. E., DESMOULIN, G. T., HUNTER, C. J.. **Is Vibration Truly an Injurious Stimulus in the Human Spine?** Journal of Biomechanics. 2009 Dec 11;42(16):2631-5. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.10.001. Epub 2009 Oct 31.

HOLMLUND, P.; LUNDSTRÖM, R. **Mechanical impedance of the sitting human body in single-axis compared to multi-axis whole-body vibration exposure.** *Clinical Biomechanics*, v. 16, p. S101–S110, jan. 2001.

HOY, J. et al. **Whole body vibration and posture as risk factors for low back pain among forklift truck drivers.** *Journal of Sound and Vibration*, v. 284, n. 3–5, p. 933–946, jun. 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631-1: Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements.** 1997.

_____. **ISO 2631-5: Mechanical vibration and shock—evaluation of human exposure to whole-body vibration—Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks.** 2018.

JOHANNESSON, O. **Investigation of exposure to whole body vibration for icebreaker crew.** Jul. 2016. Disponível em: <https://san-nytt.se/wp/wp-content/uploads/2019/11/Investigation-of-exposure-to-whole-body-vibration-for-icebreaker-crew_20....pdf>.

KRAJNAK, K. **Health effects associated with occupational exposure to hand-arm or whole body vibration.** *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, v. 21, n. 5, p. 320–334, 4 jul. 2018. DOI: 10.1080/10937404.2018.1557576

LUKMAN, H. A. ,JEFFREE, M. S. , RAMPAL, K. G. **Low Back Pain and Its Association with Whole Body Vibration and Manual Material Handling Among Commercial Drivers in Sabah.** *Int J Occup Saf Ergon.* 2019 Mar;25(1):8-16. doi: 10.1080/10803548.2017.1388571.

MANSFIELD, N. J. **Human response to vibration.** Boca Raton, FL: CRC Press, 2005. OCLC: 62208357. ISBN 9780203487228. Disponível em: <<http://site.ebrary.com/id/10162776>>.

MARJANEN, Y. **Validation and improvement of the ISO 2631-1 (1997) standard method for evaluating discomfort from whole-body vibration in a multi-axis environment.** 2010. Tese (Doutorado) Loughborough University. Thesis. <https://hdl.handle.net/2134/6250>.

NATALETTI, P., SABATINO, R., TIRABASSO, A., LENZUNI, P. **La Valutazione del Rischio Vibrazioni.** Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale, INAIL, 2019.

NELSON, C. M., E BRERETON P. F. **The European Vibration Directive.** *Ind. Health* 43, 472–479. 2005. DOI: 10.2486/indhealth.43.472.

TIEMESSEN, I. J. H.; HULSHOF, C. T. J.; FRINGS-DRESEN, M. H. W. **Low back pain in drivers exposed to whole body vibration: analysis of a dose-response pattern.** Occupational and Environmental Medicine, v. 65, n. 10, p. 667–675, 8 jan. 2008.

WAGNER, M. B., CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Medidas de associação em estudos epidemiológicos: risco relativo e odds ratio.** Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/54354/000246332.pdf?sequence=1>> Acesso em 23/04/2020.

WIKSTROM, B., KJELLBERG A., LANDSTROM U. **Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration: A review.** International Journal of Industrial Ergonomics 14, 273-292 – 1994.

ZHAO, X.; SCHINDLER, C. **Evaluation of whole-body vibration exposure experienced by operators of a compact wheel loader according to ISO 2631-1:1997 and ISO 2631-5:2004.** International Journal of Industrial Ergonomics, v. 44, n. 6, p. 840–850, nov. 2014.

Recebido: 16/04/2021
Revisado: 06/05/2021
Aprovado: 19/05/2021