

Exposição do risco ocupacional às vibrações mão-braço na operação de lixadeiras orbitais em marcenarias

Flores, C.¹ ; Vergara, E. F.² 

¹ Auditoria Fiscal do Trabalho, Ministério da Economia, Porto Alegre, RS, cibelesflores@yahoo.com.br

² Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, e.f.vergara@ufsc.br

Resumo

A exposição às vibrações em mãos e braços do corpo humano é um risco ocupacional e está relacionada com o uso e manipulação de ferramentas de trabalho que são agarradas pelas mãos. Ademais, a exposição permanente às vibrações em mãos e braços e por longos períodos pode provocar lesões, doenças e contribuir para desenvolver distúrbios musculoesqueléticos. Neste estudo foi avaliado o risco ocupacional da aceleração resultante de exposição normalizada (aren) no sistema mão-braço de trabalhadores que operaram lixadeiras orbitais em atividades de marcenaria, em função de quatro tempos totais de avaliação (75, 165, 255 e 435 minutos) considerando períodos de 30 minutos de atividade e 15 minutos de descanso. Medições de aceleração instantânea foram realizadas durante 20 e 60 segundos, para sete lixadeiras orbitais, as quais foram manuseadas por seus operadores durante a execução de uma atividade laboral habitual. A aren das lixadeiras avaliadas em períodos totais de 165, 255 e 435 minutos ultrapassou o Limite de Ação ($2,5 \text{ m/s}^2$) recomendado pela NR-9 do MTE. Para aren com tempo total de atividades superior a 165 minutos, o Limite de Exposição Ocupacional de 5 m/s^2 foi excedido.

Palavras-chave: vibração ocupacional; aceleração em ferramentas manuais; marcenarias.

PACS: 43.40.Ng, 43.66.Wv, 43.40.At.

Exposure of occupational risk to hand-arm vibrations when operating orbital sanders in woodworking

Abstract

Exposure to vibrations in the hands and arms of the human body is an occupational hazard and is related to the use and manipulation of work tools. Moreover, permanent exposure to vibrations in the hands and arms for long periods can cause injuries, diseases and contribute to the development of musculoskeletal disorders. This study evaluates the acceleration resulting from normalized exposure (AREN) in the hand-arm system of workers who operated orbital sanders in joinery activities over four total evaluation times (75, 165, 255 and 435 minutes) considering 30 minutes activity periods and 15 minutes of rest. Instantaneous acceleration measurements were performed during 20 and 60 seconds for seven orbital sanders handled by their operators during the performance of a usual work activity. AREN of sanders evaluated in periods totalling 165, 255, and 435 minutes exceeded the Action Limit (2.5 m/s^2) recommended by the NR-9 of MTE. For AREN with total activity time greater than 165 minutes, the Occupational Exposure Limit of 5 m/s^2 has been exceeded.

Keywords: occupational vibration; hand tool acceleration; woodworking.

1. INTRODUÇÃO

Os principais riscos presentes nas atividades no setor madeireiro, das serrarias e carpintarias, podem ser classificados como relativos à saúde e segurança dos trabalhadores. A maioria desses riscos relacionados à saúde dos trabalhadores está associada a exposições prolongadas a certas substâncias, ou a níveis excessivos de ruído ou vibrações de máquinas e ferramentas manuais [1–4].

Os operadores de máquinas ou ferramentas manuais frequentemente permanecem expostos a vibrações transmitidas ao sistema mão-braço de forma excessiva, durante longo período de exposição, podendo sofrer transtornos na corrente sanguínea dos dedos e alterações nas funções neurológicas e locomotoras das mãos e dos braços. Neste contexto, é comum utilizar o termo síndrome das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço para definir estas patologias no sistema mão-braço [5–6].

Vibrações com frequências superiores a 20 Hz afetam principalmente a região de mãos e braços do corpo humano e as ferramentas de trabalhos vibráteis, que são agarradas pelas mãos, são as fontes vibratórias mais comuns nessa faixa de frequência. Entre as ferramentas e equipamentos que provocam vibrações em mãos e braços, destacam-se: martelos pneumáticos, furadeiras, motosserras de corrente, polidoras, lixadeiras e rebidadeiras [7].

Os efeitos das vibrações no sistema mão-braço estão relacionados com as vibrações de alta frequência as quais são amortecidas e absorvidas pelos tecidos moles. Vibrações são transmitidas através dos ossos do sistema mão-braço, entre 20 e 1.500 Hz, podendo ser amplificadas, e a intensidade das vibrações transmitidas decresce em relação à distância com a superfície de contato, tendo ainda relação com a frequência [6–7]. Os sinais e sintomas próprios da exposição às vibrações de alta frequência no sistema mão-braço se dividem em efeitos vasculares, efeitos ósseo-articulares, efeitos neurológicos, efeitos musculares e efeitos gerais. Os efeitos vasculares aparecem nas frequências

entre 24 e 250 Hz e são definidos como síndrome vascular característico da ação de estas vibrações: fenômeno de Raynaud de origem laboral, doença de Loriga, doença vasoespástica traumática, dedo morto, dedo branco, e mais conhecido como dedo branco vibro-induzido. Os efeitos aparecem na forma de perda da capacidade de manipular e controlar pelo tato com as mãos. Os dedos das mãos se tornam brancos, logo azuis e por último vermelhos, acompanhado de formigamento, intumescimento e dor [6,8–9].

Múltiplos fatores incidem no desenvolvimento da síndrome dos dedos brancos vibro-induzidos, entre eles os fatores biológicos, os fatores físicos e os fatores individuais. Os fatores biológicos estão relacionados com a magnitude da força de pressão da mão, área da mão de contato com a fonte vibratória, posturas da mão, do braço e do corpo (ângulos de flexão do cotovelo e da munheca), os fatores físicos com as características da vibração (frequência, amplitude, direção) e do tempo de exposição (em horas/dia ou anos), e os fatores individuais com a susceptibilidade individual às vibrações, com os agentes vasoconstritores (frio, drogas, tabaco, medicamentos, agentes químicos no ambiente de trabalho), a predisposição as doenças (vasculopatias periféricas, neuropatias e diabetes), idade, treinamento, habilidade [6].

Entre as pesquisas internacionais mais relevantes e relacionadas com as vibrações e o uso de lixadeiras, em ambientes madeireiros, destaca-se o estudo de Verberk *et al.* (1985) [10], sobre a sensação vibratória e tátil dos dedos após trabalhar com lixadeiras. Esse trabalho considerou vinte e quatro trabalhadores sob condições reais que operavam uma lixadeira com vibração relativamente intensa e menos intensa, durante 80 min. Os resultados desse estudo sugeriram que uma breve exposição à vibração pode causar alguma redução da sensibilidade e foi recomendado um intervalo livre de exposição, de pelo menos várias horas, para estudar os efeitos crônicos da exposição às vibrações. Os resultados da medição e análise de aceleração da vibração confirmaram que o risco de danos permanentes à saúde dos trabalhadores que manuseiam lixadeiras orbitais nas operações de

carpintaria e processamento de madeira é muito real e a exposição diária deve ser limitada com os tempos de exposição recomendados, de forma que o processo de produção deva manter a organização do trabalho, e os cronogramas de trabalho devem ser organizados para incluir períodos livres de vibração [11,12]. A pesquisa que Gauthier *et al.* (2012) [13] desenvolveram se concentrou no setor de fabricação de móveis de madeira no Canadá, especificamente sobre a exposição à vibração dos membros superiores durante o uso de lixadeiras orbitais portáteis. Assim, foram caracterizadas as vibrações emitidas pelas lixadeiras para determinar seu impacto no desenvolvimento de lesões ocupacionais e com os demais fatores de risco como más posturas de trabalho, particularmente dos pulsos.

No Brasil, existem setores laborais como a mineração, silvicultura, construção civil e obras públicas, marcenaria, carpintaria, fabricação de equipamentos de transporte, fundições e estaleiros, cujas atividades expõem os trabalhadores às vibrações geradas pelas ferramentas portáteis vibratórias e operadas manualmente. Os estudos brasileiros sobre as lesões causadas pelas vibrações de ferramentas manuais são escassos, mas cabe destacar o estudo de Cunha (2006) [14] sobre a exposição ocupacional às vibrações em mãos e braços em treze marmoreiras, sendo avaliado o processo de corte a seco e a úmido e contabilizando as diversas posturas, posições e forças aplicadas na execução da atividade laboral. O trabalho de Soeiro (2011) [15] mostrou resultados das medições de vibração realizadas em um equipamento do setor de montagem e desmontagem de esteiras rolantes, sendo utilizadas ferramentas pneumáticas manuais nos diversos postos de trabalho. Savionek e Gomes (2012) [16] avaliaram a exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística para três diferentes tipos de pavimento (asfalto, placas moldadas de concreto e blocos intertravados de concreto), utilizando-se dois modelos de bicicleta (*Speed* e *Mountain bike*), além de ciclistas com diferentes características físicas. Diniz *et al.* (2016) [17] quantificaram a exposição do trabalhador ao agente vibração em

mãos e braços e os impactos provocados durante a execução de atividades de acabamento, esmerilhamento e polimento de peças, com utilização de quatro lixadeiras em uma empresa de caldeiraria pesada. O trabalho experimental desenvolvido por Padilha e Catai (2017) [18], em uma montadora de veículos brasileira, consistiu em medir as vibrações de mãos e braços com ferramentas pneumáticas utilizadas para aperto de componentes e lixamento de peças, em ambiente controlado (bancadas para calibração de ferramentas de torque) e no ambiente da atividade de campo, respectivamente.

A normativa internacional *Measurement and evaluation of human exposure to hand transmitted vibration* ISO 5349:2001 [19] estabelece o procedimento de medição para as vibrações transmitidas às mãos dos trabalhadores. Essa norma permite avaliar e medir o risco da exposição de vibração sobre a mão, cobrindo uma faixa de frequência de 8 a 1.000 Hz. A partir de curvas de exposição para bandas de frequência de terço de oitava podem-se encontrar os limites de níveis de vibração na mão quando esta está fixa a uma ferramenta. No Brasil, a portaria Nº 1.297, de 13 de agosto de 2014, aprovou o Anexo 1 Vibração da Norma Regulamentadora nº 9 (NR-9) Programas de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) [20], alterou o Anexo 8 Vibração da Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15) Atividades e Operações Insalubres, e recomendou outras providências [21]. A NR-9, no seu Anexo 1 – Vibração, estabelece os objetivos, disposições gerais, avaliação preliminar de exposição, avaliação quantitativa da exposição, medidas preventivas e corretivas, parâmetros utilizados na avaliação da exposição. A NR-15, no seu Anexo 8, estabelece os objetivos e a caracterização e classificação da insalubridade. Os procedimentos técnicos para a avaliação quantitativa da exposição às Vibrações de Mãos e Braços (VMB) estão estabelecidos nas Normas de Higiene Ocupacional da FUNDACENTRO [22–24]. A caracterização da exposição às vibrações VBM deve ser realizada de acordo com o item 3 do Anexo 1 da NR-9 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

O propósito deste estudo é avaliar a aceleração resultante de exposição normalizada (aren) para verificar o grau de exposição às vibrações no sistema mão-braço de trabalhadores de marcenarias, que manuseiam lixadeiras orbitais durante atividades de polimento de superfícies de madeira. A partir da análise dos resultados obtidos foi possível confirmar que se configura a exposição às vibrações em função do tempo dedicado à atividade de polimento com a lixadeira e do tempo de descanso.

2. AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

Neste estudo foi aplicado o procedimento técnico para avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços da Norma de Higiene Ocupacional NHO 10 (2013) [24] da Fundacentro e o método de cálculo adotado foi a norma internacional sobre vibrações mecânicas ISO 5349 [19].

Os níveis de exposição às vibrações em mãos e braços de sete lixadeiras orbitais, utilizadas em marcenarias, foram determinados para as acelerações instantâneas medidas simultaneamente nos eixos x , y e z , na mão do operador durante dois períodos de medição, 20 e 60 segundos. Cada lixadeira orbital foi manuseada pelo operador que realizava suas atividades laborais sobre uma superfície de madeira plana, na respectiva marcenaria.

2.1. Lixadeira orbital

As lixadeiras orbitais são utilizadas para a remoção de marcas deixadas por ferramentas na madeira, para polimento e para acabamento de superfícies irregulares [25]. Entre as lixadeiras mais comumente encontradas nas marcenarias estão as lixadeiras de cinta (de fita ou horizontais) e as lixadeiras orbitais.

As lixadeiras orbitais, além de amplamente utilizadas em marcenarias, são também bastante empregadas em serviços de chapeação automotiva. Estão presentes no mercado em diversos

modelos e finalidades, com alimentação elétrica ou pneumática, variam em tamanho e massa, podendo alguns modelos chegar a 4 kg.

O funcionamento da lixadeira orbital está baseado na rotação de uma ventoinha onde há um contrapeso, a rotação da ventoinha provoca a vibração do equipamento e, em consequência, permite o lixamento das superfícies (Figura 1). Os principais componentes de uma lixadeira orbital elétrica são o estator e rotor, a ventoinha, a base, a almofada e os pés, e podem ser observados na Figura 2. A fixação da lixa é feita na almofada, a qual é presa à base. Têm especial importância no que se refere à transmissão das vibrações às mãos dos trabalhadores os chamados pés. De acordo com o tipo de atividade e o tamanho da ferramenta, os operadores podem pegar a lixadeira com apenas uma mão ou então com ambas as mãos.



Figura 1: Ventoinha componente da lixadeira orbital. Em destaque o contrapeso.



Figura 2: Principais componentes das lixadeiras orbitais elétricas.

A avaliação da exposição às vibrações nas mãos dos trabalhadores, durante a operação de lixadeiras orbitais em marcenarias, considerou

sete lixadeiras orbitais, sendo seis de acionamento elétrico (LOE – Lixadeira Orbital Elétrica) e uma do tipo pneumático (LOP – Lixadeira Orbital Pneumática). Na Tabela 1 são apresentadas as características das lixadeiras orbitais avaliadas, elétrica e pneumática, como massa, rotação, área da base de contato de polimento, potência elétrica e pressão de ar comprimido. Estas lixadeiras não possuíam dispo-

sitivos de agarre antivibratórios e os operadores não utilizavam luvas antivibratórias durante a atividade de polimento de superfícies. Cabe notar que apenas duas lixadeiras orbitais, do tipo LOE1-1 e LOE1-2, foram operadas com as duas mãos.

Tabela 1: Características das lixadeiras orbitais utilizadas no estudo.

Lixadeira (mecanismo)	Quantidade	Massa [kg]	Rotação [rpm]	Área da base [cm × cm]	Potência [W]	Pressão [psi]
LOE1 (elétrica)	4	3,9	6.900	10,5 x 25	220	--
LEO2 (elétrica)	2	1,4	14.000	16,5 x 14,5	225	--
LOP1 (pneumática)	1	2,3	8.000	9 x 17	--	90

2.2. Exposição às vibrações mão-braço

No Brasil, a portaria N° 1.297 de 13 de agosto de 2014, aprovou o Anexo 1 - Vibração da Norma Regulamentadora n° 9 (NR-9) do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) [20] e alterou o Anexo 8 - Vibração da Norma Regulamentadora n° 15 (NR-15) que trata das Atividades e Operações Insalubres [21].

O procedimento técnico para a avaliação quantitativa da exposição às Vibrações de Mãos e Braços (VMB) está estabelecido nas Normas de Higiene Ocupacional NHO 10 da FUNDA-CENTRO [24]. A caracterização da exposição às VBM deve ser realizada de acordo com o item 3 do Anexo 1 da NR-9 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) [20].

Neste trabalho os seguintes conceitos são adotados para a determinação da exposição às vibrações em mãos e braços devido ao uso de lixadeiras orbitais em marcenarias:

- Síndrome da vibração em mãos e braços (SVMB): conjunto de sintomas de ordem vascular, neurológica, osteoarticular, muscular e outros, ocasionados pela exposição ocupacional à vibração em mãos e braços.
- Aceleração resultante de exposição normalizada (aren): aceleração resultante de exposição (are) convertida para uma jornada diária padrão de 8 horas. O termo aren corresponde ao termo $a_{hv(eq,8h)}$ ou A(8), da norma ISO 5349 [19].
- Nível de ação: corresponde a um valor de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de $2,5 \text{ m/s}^2$, conforme o Anexo I da NR-9 [20].
- Limite de exposição ocupacional: corresponde a um valor de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de 5 m/s^2 , conforme o Anexo I da NR-9 [20].

A norma NHO 10 (2013) [24] fundamenta a avaliação dos níveis exposição das vibrações em mãos e braços na norma ISO 5349 [19]. Para avaliar o nível de exposição, estas normas padronizam o valor de exposição diária para um período de referência de 8 horas que é definido pela aceleração resultante de exposição normalizada ($aren$), em m/s^2 , como:

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}}, \quad (1)$$

sendo are a aceleração resultante da exposição, em m/s^2 , que representa a exposição ocupacional diária; T o tempo de duração da jornada diária de trabalho, expresso em horas ou minutos; e T_0 corresponde às 8 horas ou 480 minutos.

Para o caso das vibrações em mãos e braços a aceleração média resultante (amr), em m/s^2 , é obtida pela raiz quadrada da soma dos quadrados das acelerações médias, medidas na direção x , y e z , conforme a expressão:

$$amr = \sqrt{am_x^2 + am_y^2 + am_z^2}, \quad (2)$$

sendo am_j a aceleração média em cada direção de medição x , y e z , em m/s^2 .

A aceleração resultante da exposição parcial ($arep_i$) corresponde à aceleração média resultante representativa da exposição ocupacional relativa à componente de exposição x , y e z , durante uma parcela do tempo da jornada diária e é apresentada na seguinte equação:

$$arep_i = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s am_{ik}, \quad (2)$$

sendo s o número de amostras da componente de exposição (x , y , z).

A aceleração resultante da exposição (are) é a aceleração média resultante representativa da exposição ocupacional diária que considera os três eixos ortogonais e as diversas componentes de exposição identificadas ($i = x, y, z$) e expressa como:

$$are = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m n_i arep_i^2 T_i}, \quad (4)$$

em que n_i é o número de repetições da componente de exposição i ao longo da jornada de trabalho; T_i é o tempo de duração da componente de exposição i ; m é o número de componentes de exposição que compõem a exposição diária; e T é o tempo de duração da jornada diária de trabalho.

A aceleração média (am_j) é obtida a partir da raiz média quadrática dos valores da aceleração instantânea no período de medição, em m/s^2 , na direções x , y e z .

$$am_j = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a_j^2(t) dt}, \quad (5)$$

em que $a_j(t)$ corresponde aos valores de aceleração instantânea nas direções x , y e z , em m/s^2 , respectivamente, e $t_2 - t_1$ representa o intervalo de tempo de medição.

2.3. Medição das vibrações nas mãos dos operadores

Quando o tempo do ciclo da atividade laboral é curto, é conveniente realizar mais de uma medição de vibração do ciclo completo. Para exposições mais longas, uma amostra representativa é geralmente adequada. Para vibrações em mãos e braços, amostras de pelo menos vinte segundos devem ser medidas, com no mínimo três repetições. Interrupções na exposição devem ser evitadas quando realizada a medição porque elas induzem uma redução do valor da aceleração média (am_j). Assim, a aquisição de dados deve ser iniciada após a vibração ter iniciado e parada antes que esta cesse [8].

Neste trabalho foram realizadas três medições de vinte segundos para cada ferramenta, totalizando um minuto, conforme recomendado por Mansfield (2005) [6] e também três medições com sessenta segundos de duração, de acordo com a especificação do manual do usuário do equipamento de medição utilizado da Brüel & Kjær (2009) [26].

Os dados de medição de aceleração instantânea $a_j(t)$ foram coletados durante períodos de 20 e 60 segundos, com três medições para cada período e operador com sua respectiva lixadeira. A partir dos dados de aceleração instantânea foram quantificadas a aceleração média (am_j), a aceleração média resultante (amr) e a aceleração resultante da exposição parcial ($arep_i$).

Para todas as situações de medição de aceleração foi utilizado um acelerômetro triaxial DeltaTron Tipo 4524-B-001, um analisador de vibração humana tipo 4447, da Brüel & Kjær, adaptadores e acessórios para montagem, calibrador de vibração Tipo 4294 e o *software* 4447 Vibration Explorer para aquisição e transferência de dados [26].

O sistema de coordenadas usado para a aquisição da vibração mão-braço seguiu as orientações da norma ISO 5349-1:2001 [19], onde a coordenada x é direção superior-inferior, y é a direção média-lateral e z a direção posterior-anterior (ver Figura 3). A aceleração instantânea a_j foi medida na mão que conduzia a manobra de lixamento da placa de madeira e que realizava o acabamento desta superfície. A Figura 4 mostra o acelerômetro montado entre a mão esquerda do operador e a superfície superior e dianteira da lixadeira. As medições de aceleração foram ponderadas na frequência aplicando a curva de ponderação, na faixa entre 6,3 a 1.000 Hz, atendendo as especificações das normas ISO 5349-1 [19] e ISO 8041 (2005) [27].

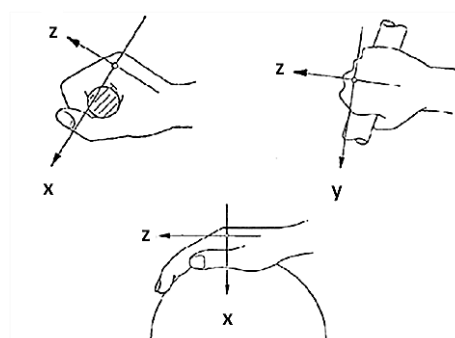


Figura 3: Sistema de coordenadas cartesianas para a mão [19].

A identificação das componentes de exposição considerou, de acordo com a norma NHO 10 (2013) [24], a fixação do acelerômetro na lixadeira e a utilização desta mais o intervalo de tempo até o seu próximo uso. Assim, cada uma das componentes de exposição é representada pelo valor de aceleração resultante de exposição parcial ($arep_i$), conforme mostra a Equação (3). Todavia, vale destacar que nesta situação o tempo durante o qual as lixadeiras não são operadas, a vibração é nula ou desprezível.

Os operadores das lixadeiras orbitais que participaram na medição das vibrações nas mãos eram trabalhadores do setor madeireiro (seis homens e um mulher). A maioria deles possuía experiência na manipulação das lixadeiras orbitais e as utilizavam há mais de 10 anos. Em alguns casos, os trabalhadores afirmaram sentir dores quando o uso dos equipamentos era mais frequente, afetando principalmente o antebraço, o braço, o ombro e o cotovelo.



Figura 4: Posição da mão do operador com a lixadeira orbital e montagem do acelerômetro entre a mão e a lixadeira.

Para avaliar a exposição às vibrações em mãos e braços, em termos da aceleração resultante da exposição ($aren$), foi considerado o relato dos trabalhadores sobre o tempo dedicado à atividade de polimento de peças de madeira durante a execução do trabalho na marcenaria, em relação ao período de trabalho de 8 horas diárias.

O período mínimo de operação da lixadeira, em média e conforme exposto pelos operadores, foi de 30 minutos de atividade com 15 minutos de descanso (período sem operação da lixadeira e dedicado à realização de atividades de organização e limpeza de peças de madeira). A partir dessa informação foram estabelecidos quatro possíveis períodos de trabalho com du-

ração total de 75, 165, 255 e 435 minutos, denominado tempo total de avaliação, para determinar a aceleração resultante de exposição normalizada em mãos e braços (aren) de cada tipo de lixadeira orbital avaliada, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Definição do tempo total de avaliação a partir do tempo parcial e número de exposições, número de exposições, tempo e número de descansos.

Tempo parcial de exposição [minutos]	Número de exposições	Tempo de descanso [minutos]	Número de descansos	Tempo total de avaliação [minutos]
30	2	15	1	75
	4		3	165
	6		5	255
	10		9	435

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da aceleração média (am_j) e da aceleração média resultante (am_r), determinadas a partir das três repetições das medições de aceleração instantânea $a_j(t)$, de cada período de medição, 20 e 60 segundos, são apresentados

respectivamente nas Tabelas 3 e 4. As lixadeiras orbitais LOE1-1 e LOE2-2 apresentaram os valores maiores de aceleração média resultante (superiores a 9 m/s^2) e as lixadeiras LOE1-2 e LOE2-1 os valores menores (inferior a 7 m/s^2), tanto para os períodos de medição de 20 segundos como para 60 segundos.

Tabela 3: Aceleração média (am_j) e aceleração média resultante (am_r) da aceleração instantânea de 20 segundos.

Lixadeira	am_x [m/s^2]	am_y [m/s^2]	am_z [m/s^2]	am_r [m/s^2]
LOE1-1	7,10	6,98	3,97	10,72
LOE1-2	5,25	1,47	2,04	5,82
LOE1-3	3,31	3,49	7,42	8,85
LOE1-4	2,71	4,29	5,48	7,47
LOE2-1	1,15	4,55	4,37	6,16
LOE2-2	5,85	5,40	6,51	10,30
LOP1	1,12	2,03	7,39	7,76

A determinação da aceleração resultante da exposição (are) considerou, respectivamente, para cada tempo de duração da componente de exposição (75, 165, 255 e 435 minutos), 1, 2, 3 e 5 repetições de 30 minutos de exposição, para cada componente da aceleração resultante (amr) de 20 e 60 segundos de duração, conforme descrito na Tabela 2. Os resultados da aceleração resultante da exposição (are), da Tabela 5, mostram que as lixadeiras LOE1-1 e LOE2-2 mantiveram valores de aceleração superiores a 8 m/s² e no caso das lixadeiras

LOE1-2 e LOE2-1 os valores da are permanecem inferiores a 5 m/s². Cabe notar que estas lixadeiras pertencem ao grupo 1 e 2 das lixadeiras orbitais de acionamento elétrico (LOE) e se diferenciam pela massa, rotação e área de base de contato (ver Tabela 1). As lixadeiras orbitais elétricas LOE1-3 e LOE1-4 e a lixadeira orbital pneumática LOP1 apresentaram valores intermediários de aceleração resultante da exposição (are), variando entre 6 e 8 m/s².

Tabela 4: Aceleração média (am_x) e aceleração média resultante (amr), da aceleração instantânea de 60 segundos.

Lixadeira	am _x [m/s ²]	am _y [m/s ²]	am _z [m/s ²]	amr [m/s ²]
LOE1-1	6,84	5,47	3,52	9,44
LOE1-2	4,04	1,21	2,34	4,92
LOE1-3	4,04	3,72	6,96	8,88
LOE1-4	3,34	5,01	5,46	8,14
LOE2-1	1,61	2,34	2,36	3,72
LOE2-2	7,26	7,71	7,41	12,95
LOP1	1,05	2,44	6,09	6,67

Tabela 5: Aceleração resultante da exposição (are) para cada tempo de duração da componente de exposição.

Lixadeira	are [m/s ²]			
	75 mi- nutos	165 mi- nutos	255 mi- nutos	435 mi- nutos
LOE1-1	9,03	8,61	8,49	8,39
LOE1-2	4,82	4,60	4,53	4,48
LOE1-3	7,93	7,56	7,45	7,36
LOE1-4	6,99	6,66	6,56	6,49
LOE2-1	4,55	4,34	4,28	4,23
LOE2-2	10,47	9,98	9,83	9,72
LOP1	6,47	6,17	6,08	6,01

A aceleração resultante de exposição normalizada (aren) foi determinada para as sete lixadeiras orbitais avaliadas a partir dos valores de aceleração resultante da exposição (are) e considerando os tempos de exposição de 75, 165, 255 e 435 minutos, conforme apresentados na Tabela 2, para um tempo de referência de 8 horas (480 minutos). As Figuras 5 a 8 mostram os valores da aren das lixadeiras orbitais para cada tempo de exposição e os limites estabelecidos pela NR-15 [21] para o Nível de Ação ($2,5 \text{ m/s}^2$) e para o Limite de Exposição Ocupacional (5 m/s^2).

Os valores de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) das lixadeiras orbitais elétricas LOE1-2 e LOE2-1 permaneceram abaixo do Nível de ação, apenas para 75 minutos de exposição (ver Figura 5) e não ultrapassaram o Limite de Exposição Ocupacional para as exposições às vibrações com duração de 165, 255 e 435 minutos (Figuras 6 a 8). As lixadeiras LOE1-1 e LOE2-2 excedem o Limite de Exposição Ocupacional para tempos de exposição superiores a 165 minutos. A aceleração resultante de exposição normalizada da maioria das lixadeiras orbitais, com exceção das LOE1-1, LOE1-3 e LOE2-2, permaneceram entre o Nível de Ação e o Limite de Exposição Ocupacional para tempos de exposição com durações entre 165 e 255 minutos.

Em relação às lixadeiras LOE1-1 e LOE2-2 pode ser acrescentado que os operadores relataram sentir dores nos braços e cotovelos pelo uso frequente do equipamento, inclusive um funcionário teve períodos de afastamento do trabalho. A lixadeira LOE2-2 apresentou um parafuso solto que impedia a fixação correta dos elementos componentes da ferramenta e, assim, ofereceu um nível de vibração maior que o recomendado.

A aceleração resultante de exposição normalizada (aren) das lixadeiras utilizadas em períodos totais de 165, 255 e 435 minutos foi superior ao Limite de Ação ($2,5 \text{ m/s}^2$) recomendado pela NR-9 do MTE. Nesse caso, será necessário adotar medidas preventivas, independente do uso de equipamentos de proteção individual, como por exemplo luvas antivibratórias.

Para acelerações resultantes de exposição normalizada (aren) com tempo total de atividade superiores a 165 minutos foi superado o Limite de Exposição Ocupacional de 5 m/s^2 , o que implica na obrigatoriedade da aplicação de medidas corretivas para assim evitar uma caracterização de uma condição insalubre de trabalho.

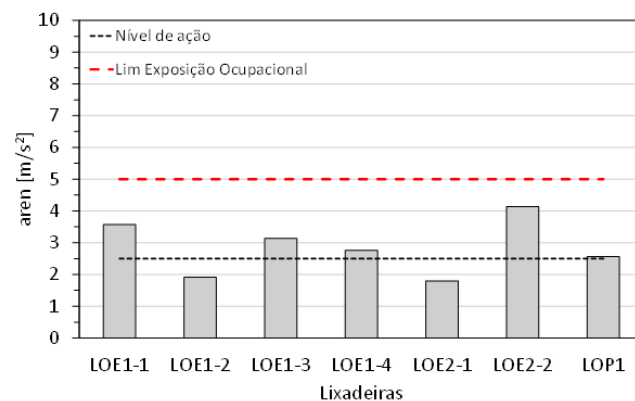


Figura 5: Aceleração resultante de exposição normalizada (aren) das lixadeiras orbitais para um período de exposição de 75 minutos.

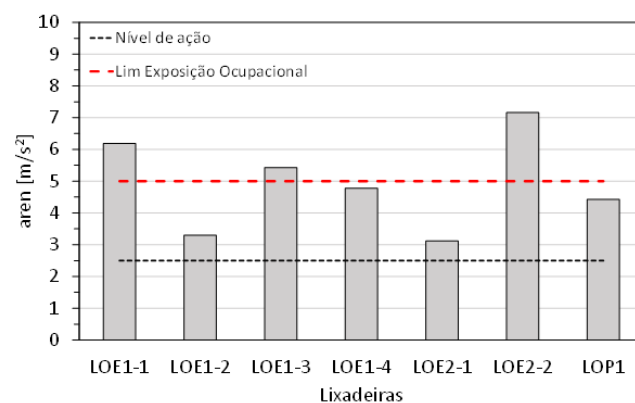


Figura 6: Aceleração resultante de exposição normalizada (aren) das lixadeiras orbitais para um período de exposição de 165 minutos.

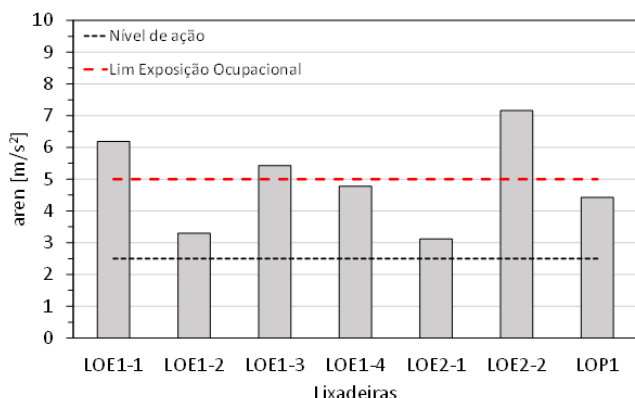


Figura 7: Aceleração resultante de exposição normalizada (aren) das lixadeiras orbitais para um período de exposição de 255 minutos.

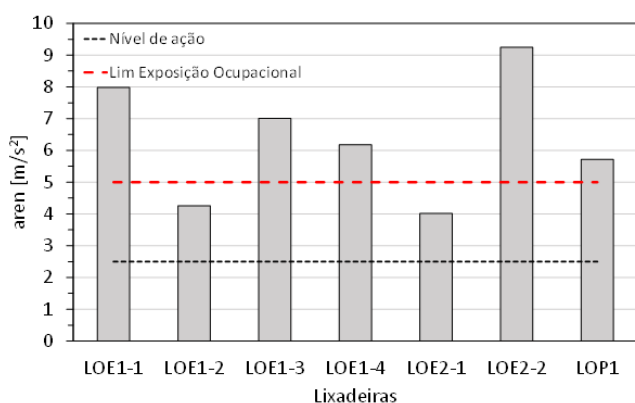


Figura 8: Aceleração resultante de exposição normalizada (aren) das lixadeiras orbitais para um período de exposição de 435 minutos.

Cabe destacar que a manutenção passa a ter papel fundamental não apenas do ponto de vista do aumento da disponibilidade dos equipamentos, gerando ganhos na produção, mas também sob a ótica da saúde e da segurança do trabalhador. A prática dos diálogos diários de segurança deve incluir a verificação das condições de manutenção das ferramentas utilizadas pelos próprios trabalhadores, onde estes apontariam problemas constatados e fariam os ajustes necessários. Algumas intervenções simples, como o aperto de parafusos soltos, poderiam ser realizadas pelos próprios operadores, os quais são os principais beneficiados ao operarem um equipamento com o menor nível de ruído e vibração possível. Também o treinamento

é fundamental, devendo o trabalhador ser orientado sobre a melhor maneira de realizar suas tarefas, empregando a menor força possível (levando em conta a segurança da operação) na pega da ferramenta.

Vale ressaltar que os diagnósticos da exposição às fontes de vibração nos locais de trabalho são válidos quando as ferramentas analisadas (lixadeiras orbitais) são as únicas fontes de vibração durante a jornada de trabalho. No entanto, é possível que os trabalhadores estejam expostos a diferentes fontes de vibração ao longo da sua jornada.

4. CONCLUSÕES

Neste estudo foi determinado o nível de exposição às vibrações no sistema mão-braço de trabalhadores de marcenarias que utilizaram lixadeiras orbitais. A partir dos resultados obtidos de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) foi confirmado que existe exposição às vibrações em função do tempo total de avaliação, ou seja, o tempo dedicado à atividade de polimento com a lixadeira e o tempo de descanso.

Os tempos totais de avaliação entre 165 e 255 minutos poderiam ser períodos recomendados para realizar atividades de polimento de superfícies com lixadeiras orbitais em marcenarias, sempre que medidas preventivas sejam adotadas e que o Limite de Exposição Ocupacional não seja ultrapassado.

REFERÊNCIAS

1. FARIAS, V.; BURITI, A.; ROSA, M. Ocorrência de perda auditiva induzida pelo ruído em carpinteiros. *Revista CEFAC*. v. 14, n. 3, p. 413–422, 2012. ISSN 1982-0216. doi: [10.1590/S1516-18462011005000119](https://doi.org/10.1590/S1516-18462011005000119).
2. FIEDLER, N.; P. P., GUIMARÃES; ALVES, R. T.; WANDERLEY, F. B. Avaliação ergonômica do ambiente de trabalho em marceneiros no sul do Espírito Santos. *Revista Árvore*, v. 34, n. 5, p. 907–915, 2010. ISSN 0100-6762. doi: [10.1590/S0100-67622010000500016](https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000500016).

3. PIGNATI, W. A.; MACHADO, J. M. H. Riscos e agravos à saúde e à vida dos trabalhadores das indústrias madeireiras de Mato Grosso. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 10, n. 4, pp.961-973, 2005. ISSN 1413-8123. doi: [10.1590/S1413-81232005000400019](https://doi.org/10.1590/S1413-81232005000400019).
4. VENTUROLI, F.; FIEDLER, N. C.; MINETTI, L. J.; MARTINS, I. S. Avaliação do nível de ruído em marcenarias no Distrito Federal, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p. 547–551, 2003. ISSN 1807-1929. doi: [10.1590/S1415-43662003000300023](https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000300023).
5. Guia de boas práticas não vinculativo para a aplicação da Directiva 2002/44/CE relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações). Comissão Europeia, 2009. ISBN 978-92-79-07545-2. Disponível em: <https://op.europa.eu/pt/publication-detail/-/publication/3f9392ff-8975-4139-9ea2-5b168a334664/language-pt>
6. MANSFIELD, N. J. *Human Response to Vibration*. Florida: CRC Press, 2005. ISBN 0-415-28239-X.
7. GRIFFIN, M. J. *Handbook of Human Vibration*. London: Elsevier Academic Press, 2004.
8. BOVENZI, M.; WELSH, A. J. L.; GRIFFIN, M. Acute effects of continuous and intermittent vibration on finger circulation. *International Archives of Occupation Environmental Health*, v. 77, n. 4, p. 255–263, 2004. ISSN 1432-1246. doi: [10.1007/s00420-004-0507-4](https://doi.org/10.1007/s00420-004-0507-4).
9. DONG, R. G.; MCDOWELL, T. W.; WELCOME, D. E.; SMUTZ, W. P. Correlations between biodynamic characteristics of human hand–arm system and the isolation effectiveness of anti-vibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 35, n. 3, p. 205–216, 2005. ISSN 0169-8141. doi: [10.1016/j.ergon.2004.08.009](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.08.009).
10. VERBERK, M. M.; SALLI, H. J. A.; KEMPERS, O. Vibratory and tactile sense of the fingers after working with sanders. *International Archives of Occupation Environmental Health*, v. 56, p. 217–223, 1985. ISSN 1432-1246. doi: [10.1007/BF00396599](https://doi.org/10.1007/BF00396599).
11. GOGLIA, V.; RISOVLÉ, S.; BELJO, R. Hand transmitted vibrations caused by orbital hand sanding machines. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, v. 46, n. 1, p. 33–44, 1995. ISSN 1848-6312.
12. SUCHOMEL, J.; SIKLIENKA, M.; GOGLIA, V. Exposure to the hand-arm transmitted vibration at using pneumatic sanding machine. *Human Resources Management and Ergonomics*, v. 5, n. 1, p. 1–8, 2011. ISSN 1337-0871.
13. GAUTHIER, F.; GÉLINAS, D.; MARCOTTE, P. Vibration of portable orbital sanders and its impact on the development of work-related musculoskeletal disorders in the furniture industry. *Computers & Industrial Engineering*, v. 62, n. 3, p. 762–769, 2012. ISSN 0360-8352. doi: [10.1016/j.cie.2011.11.035](https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.11.035).
14. CUNHA, I. A. *Exposição ocupacional à vibração em mãos e braços em marmorarias no município de São Paulo: proposição de procedimento alternativo de medição*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-10042007-000855/pt-br.php>
15. SOEIRO, N. S. Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação ocupacional. In: *Anais I workshop de vibrações e acústica*. Tucuruí, PA: [s.n.], 2011. Disponível em: <https://docplayer.com.br/31207275-Vibracoes-e-o-corpo-humano-uma-avaliacao-ocupacional.html>
16. SAVIONEK, D.; GOMES, H. M. Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística. *Revista Liberato*, v. 13, n. 20, p. 1–20, 2012. ISSN 2178-8820. doi: [10.31514/rliberato.2012v13n20.p113](https://doi.org/10.31514/rliberato.2012v13n20.p113).
17. DINIZ, H., A., G.; RAMOS, J., DE S.; J., C., BRANDÃO; ZANETTI, C., S.; DUARTE,

- M. L. M.; Impacto da vibração de mãos e braços sobre o trabalhador na utilização de lixadeiras. In: *IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CONEM 2016*. Fortaleza, CE: [s.n.], 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316727020_IMPACTO_DA_VIBRACAO_DE_MAOS_E_BRACOS SOBRE O TRABALHADOR NA UTILIZACAO DE LIXADEIRAS/link/5c774681a6fdcc4715a15041/download
18. PADILHA, R., A., B.; CATAI, R. E. Análise experimental de vibração ocupacional de mãos e braços na utilização de ferramentas pneumáticas em montadora. *Revista ESPACIOS*, v. 38, n. 22, p. 30, 2017. ISSN 0798-1015.
19. International Organization for Standardization. ISO 5349: Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration, Part 1: General requirements, Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace, 2001.
20. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR 9: Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. 2014.
21. _____. NR 15: Atividades e Operações Insalubres. 2014.
22. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. FUNDACENTRO. Norma de Higiene Ocupacional. Procedimento técnico: avaliação da exposição ocupacional ao ruído NHO 01, 2001.
23. _____. Norma de Higiene Ocupacional. NHO 09: Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro Procedimento técnico, 2013. ISBN 85-98117-75-1.
24. _____. Norma de Higiene Ocupacional. NHO 10: Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços Procedimento técnico, 2013. ISBN 978-85-98117-76-8.
25. SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. Tecnologia de Máquinas, Ferramentas e Instrumentos de Marcenaria. Rio de Janeiro. SENAI, 2003.
26. Technical documentation. Human Vibration Analyzer Type 4447. User Manual. Brüel & Kjaer, 2009.
27. International Organization for Standardization. ISO 8041: Human response to vibration - Measuring instrumentation, 2005.