

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO MARCOS MEDEIROS

**AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO EM MÃOS E BRAÇOS NO CORTE DE
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO COM FERRAMENTAS ELÉTRICAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA

2022

JOÃO MARCOS MEDEIROS

**AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO EM MÃOS E BRAÇOS NO CORTE DE MATERIAIS
DE CONSTRUÇÃO COM FERRAMENTAS ELÉTRICAS**

**Evaluation of the vibration of hands and arms in cutting construction materials
with power tools**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai.

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



JOAO MARCOS MEDEIROS

AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO EM MÃOS E BRAÇOS NO CORTE DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO COM FERRAMENTAS ELÉTRICAS.

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Construção Civil.

Data de aprovação: 30 de Maio de 2022

Dr. Rodrigo Eduardo Catai, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Cezar Augusto Romano, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Thiago Valle Franca, Doutorado - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 30/05/2022.

Dedico este trabalho a minha família,
pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em particular minha esposa, Sandra, e minhas filhas, Pamela e Paola, que compartilharam meus sonhos e me incentivando a prosseguir nesta jornada.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Eduardo CATAI, que me confiou este trabalho e pelas orientações durante o desenvolvimento das análises, contribuições, sugestões e correções.

Aos Mestres da minha longa jornada de estudos, em especial a Prof.^a. Dra. JANINE Nicolosi Corrêa e ao Prof. Dr. Cezar Augusto ROMANO e ao Prof. Dr. ALFREDO Iarozinski Neto pelas contribuições a este trabalho.

Aos Engenheiros Carlos G. Sabim HURTADO e WAGNER Gouveia Almeida, pelas contribuições para que esse trabalho pudesse ser realizado com excelência.

Às pessoas especiais que me ajudaram e com certeza fazem parte da minha história.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

Obrigado.

RESUMO

MEDEIROS, João Marcos. **Avaliação da vibração em mãos e braços no corte de materiais de construção com ferramentas elétricas**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

Na construção civil, em muitas atividades como cortar, furar, lixar, esmerilhar, os trabalhadores estão expostos à vibração de mãos e braços (VMB), que, de acordo com estudos transversais, provoca danos ao organismo humano. Por isso, no Brasil a Norma de Higiene Ocupacional (NHO 10) estabelece como um limite de tolerância um valor de $5,0 \text{ m/s}^2$, e a Legislação trabalhista estabelece um monitoramento e controle da exposição periódicos. Entretanto, devido às peculiaridades da construção civil, em boa parte dos canteiros de obra observados não se realiza os ensaios de vibração. Para esclarecer a quais valores de VMB o trabalhador está exposto, realizou-se uma avaliação durante o corte dos materiais de construção utilizados em obras no Brasil. Nos grupos SC-I, SM-I e ES-I fixou-se o acelerômetro no punho principal e nos grupos SC-II e ES-II fixou-se no punho auxiliar. Coletou-se os dados da aceleração ponderada (AP) nos eixos “x”, “y” e “z” e a aceleração total, considerando uma jornada de trabalho de oito horas – A_t . Os resultados apontaram que, ao utilizar as serras circulares do fabricante “A”, os valores de A_t estavam 15% acima do limite de ação e, utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, estavam 30% abaixo do limite de ação. Utilizando-se as serras mármores do fabricante “A” e do fabricante “B”, os valores de aceleração total A_t estavam 40% acima do limite de ação. Utilizando-se as serras circulares do fabricante “A”, os valores de aceleração total A_t estavam 286% acima do limite de tolerância; utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, estavam 232% acima do limite de tolerância; e utilizando-se as ferramentas do fabricante “C”, estavam 216% acima do limite de tolerância. Portanto, ao usar as serras circulares, a síndrome dos dedos brancos, fenômeno de Reynaud, 10% dos indivíduos expostos, em torno de 12 anos. Com o uso das serras mármore, a manifestação surge em torno de 8 anos. Com o uso das esmerilhadeiras sem redutor de vibração, a manifestação foi muito rápida, em torno de 3 anos, utilizando-se esmerilhadeiras com redutores de vibração a SVMB foi de 4 anos. Conclui-se que das ferramentas ensaiadas, as esmerilhadeiras utilizadas para o corte dos metais são as mais prejudiciais à saúde do trabalhador, mesmo os modelos com redutores de vibração, sendo, necessário a adoção de medidas corretivas como o controle de tempo de uso e o desenvolvimento de estudos nesta ferramenta para adequá-las aos níveis de vibração aceitáveis.

Palavras-chave: Vibração de mãos e braços; Corte de materiais de construção; Ferramentas elétricas.

ABSTRACT

MEDEIROS, João Marcos. **Evaluation hand and arm vibration when cutting building materials with power tools**. 2022. Dissertation in Postgraduate Program in Civil Engineering (PPGEC) - Federal Technological University – Paraná. Curitiba, 2022.

In civil construction, in many activities, such as cutting, drilling, sanding, grinding, workers exposed to hand and arm vibration (VMB), which, with cross-sectional studies, cause damage to the human body. Therefore, the value of 5.0 m/s^2 is established as a tolerance limit, and the Labor Legislation establishes periodic monitoring and control of exposure. However, due to the peculiarities of civil construction, in most of the observed construction sites, vibration tests are not carried out. For which the values of works the worker is exposed to VMB, an evaluation was experimented during the construction materials used in works in Brazil. In groups SC-I, SM-I and ES-I, the accelerometer was fixed to the main wrist and in groups SC-II and ES-II it was fixed to the auxiliary wrist. axes of the weighted collection (AP) in the axes of the weighted collection in the axes and “z” and the total – A_t . The results showed that, when using as circular saws from manufacturer “A”, the values of A_t were 15% above the action limit and, using as tools from manufacturer “B”, they were 30% below the limit. of action. Marble saws above from manufacturer “A” and Use from manufacturer “B”, total manufacturer A) values were 40% of the action limit. Gone were the circular saws from the manufacturer “A the total use values of the manufacturer A_t above 286% of the tolerance limit using as tools from the manufacturer “B”, were 232% above the tolerance limit; and using manufacturer “C” tools, they were 216% above the tolerance limit. Therefore, when using as circular beings, the white finger syndrome (SVMB) appears in 10% of exposed animals, around 12 years old. With the use of marble saws, the manifestation appears around 8 years. With the use of grinders without vibration reducers, the manifestation was very fast of 3 years, using grinders with vibration reducers for SVMB of 4 years. It is concluded that the decorated tools, as they are used for metals, are more harmful to the health of the worker, even the vibration reducers, requiring the adoption of measures such as the control of correction of time of use and the development of studies in this tool to adapt them to acceptable vibration levels.

Keywords: Vibration of hands and arms; Construction materials; Electric cutting tools.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo clássico do sistema massa-mola-amortecedor.....	21
Figura 2 – Sistema massa mola	21
Figura 3 – Elementos característicos de uma Senoidal	22
Figura 4 – Medição da VMB com mini acelerômetros	23
Figura 5 – <i>D_y</i> para manifestação da Síndrome da vibração de mãos e braços (SVMB).....	26
Figura 6 – Atividades com exposição à VMB	32
Figura 7 – Sequência numérica da evolução da SVMB	35
Figura 8 – Serra circular utilizada no corte de madeira	36
Figura 9 – Serra mármore utilizada no corte de mármore	38
Figura 10 – Esmerilhadeira utilizada para o /corte de metais.....	40
Figura 11 – Esmerilhadeiras do fabricante Bosch® GWS 22-180 LVI	42
Figura 12 – Esmerilhadeira com o SJS II do fabricante Makita®	42
Figura 13 – Boxplot da aceleração total A_t do grupo SC-I.....	72
Figura 14 – Boxplot da aceleração total A_t do grupo SC-II.....	75
Figura 15 – Boxplot da aceleração total A_t no grupo SM-I	78
Figura 16 – Boxplot da aceleração total A_t no grupo ES-I sem redutor de VMB	82
Figura 17 – Boxplot da aceleração total A_t no grupo ES-II sem redutor de VMB	85
Figura 18 – Boxplot da aceleração total A_t no grupo ES-I com redutor de VMB	89
Figura 19 – Boxplot da aceleração total A_t no grupo ES-II com redutor de VMB	91
Figura 20 – Comparação da fixação do adaptador do acelerômetro com abraçadeiras metálicas e abraçadeiras de poliamida	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Normas ISO que tratam da VCI e da VMB	27
Quadro 2 – Valores estabelecidos pela NHO 10.....	29
Quadro 3 – Valores de VMB apresentados pela Diretiva 2002/44/EC	29
Quadro 4 – Limites para a exposição da mão em qualquer das direções x_h , y_h e z_h .	31
Quadro 5 – Classificação do fenômeno de Raynaud induzido pela VMB	34
Quadro 6 – Classificação de estágios sensorineurais de SVMB.....	34
Quadro 7 – Resultados das medições de vibração de mãos e braços em lixadeiras	41
Quadro 8 – Formação dos Grupos e as principais variações do experimento	44
Quadro 9 – Modelos e características técnicas das Serras Circular ensaiadas	45
Quadro 10 – Modelos e características técnicas da Serras Mármorens ensaiadas	46
Quadro 11 – Modelos e características técnicas das Esmerilhadeiras ensaiadas sem dispositivo anti vibração nas empunhadura principal e auxiliar	47
Quadro 12 – Modelos e características técnicas das Esmerilhadeiras ensaiadas com dispositivo anti vibração nas empunhadura principal e na auxiliar	48
Quadro 13 – Grupos e materiais ensaiados.....	49
Quadro 14 – Características das madeiras ensaiadas.....	50
Quadro 15 – Características das rochas ensaiadas.....	50
Quadro 16 – Características dos metais ensaiados	51
Quadro 17 – Discos de cortes utilizados nos ensaios	52
Quadro 18 – Características dos adaptadores para fixação do acelerômetro	53
Quadro 19 – Fixação do acelerômetro nas ferramentas – eixos “x”, “y” e “z”	54
Quadro 20 – Tamanho das amostras do grupo SC-I: foco nos materiais.....	57
Quadro 21 – Tamanho das amostras do grupo SC-II: foco nos materiais.....	60
Quadro 22 – Tamanho das amostras do grupo SM-I: foco nos materiais	63
Quadro 23 – Tamanho das amostras do grupo ES-I: foco nos materiais.....	65
Quadro 24 – Tamanho das amostras do grupo ES-II: foco nos materiais.....	68
Quadro 25 – Tamanho das amostras do grupo SC-I: foco nos fabricantes.....	71
Quadro 26 – Resultados da aceleração ponderada eixos “x”, “y” e “z”-Grupo SC-I..	72

Quadro 27 – Resultados do tempo máximo de exposição e do Dy do grupo SC-I....	74
Quadro 28 – Tamanho das amostras grupo SC-II: foco nos fabricantes.....	74
Quadro 29 – Resultados da aceleração ponderada: eixos “x”, “y” e “z”-Grupo SC-II	75
Quadro 30 – Resultados do tempo máximo de exposição e do Dy do grupo SC-II...	76
Quadro 31 – Tamanho das amostras do grupo SM-I: foco nos fabricantes	77
Quadro 32 – Resultados das medições de vibração ponderada do Grupo SM-I.....	78
Quadro 33 – Resultados do tempo máximo de exposição e do Dy do grupo SM-I ...	80
Quadro 34 – Tamanho das amostras do grupo ES-I sem redutor de VMB: foco nos fabricantes	80
Quadro 35 – Resultados das medições de vibração ponderada do Grupo ES-I sem redutor de VMB	81
Quadro 36 – Resultados do tempo máximo de exposição e do Dy do grupo ES-I sem redutor de VMB	83
Quadro 37 – Tamanho das amostras do grupo ES-II sem redutor de VMB: foco nos fabricantes	84
Quadro 38 – Resultados das medições de vibração ponderada do Grupo ES-II sem redutor de VMB	85
Quadro 39 – Resultados do tempo máximo de exposição e do Dy do grupo ES-II sem redutor de VMB.....	87
Quadro 40 – Tamanho das amostras do grupo ES-I com redutor de VMB: foco nos fabricantes	88
Quadro 41 – Resultados do tempo máximo de exposição diária e do Dy do grupo ES-I com redutor de VMB.....	90
Quadro 42 – Tamanho das amostras do grupo ES-II com redutor de VMB: foco nos fabricantes	91
Quadro 43 – Resultados do tempo máximo de exposição e do Dy do grupo ES-II com redutor de VMB.....	92
Quadro 44 – Tamanho das amostras para Dy para todos os grupos.....	93
Quadro 45 – Tamanho das amostras da fixação do adaptador acelerômetro.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados de VMB do grupo SC-II: foco nos materiais madeireiros	58
Tabela 2 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis do grupo SC-I: foco nos materiais madeireiros.....	58
Tabela 3 – Resultados do teste U de Mann-Whitney do grupo SC-I: foco nos materiais madeireiros	59
Tabela 4 – Resultados de VMB do grupo SC-II: foco nos materiais.....	61
Tabela 5 – Resultados teste de Kruskal-Wallis do grupo SC-II: foco nos materiais ..	61
Tabela 6 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney do grupo SC-II: foco nos materiais	62
Tabela 7 – Resultados de VMB do grupo SM-I: foco nos materiais ensaiados	63
Tabela 8 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis do grupo SM-I: foco nos materiais	64
Tabela 9 – Resultado do teste U de Mann-Whitney do grupo SM-I: foco nos materiais	64
Tabela 10 – Resultado de VMB do grupo ES-I: foco nos materiais.....	66
Tabela 11 – Resultado do teste de Kruskal-Wallis do grupo ES-I: foco nos materiais	67
Tabela 12 – Resultado do teste U de Mann-Whitney do grupo ES-I: foco nos materiais	67
Tabela 13 – Resultado de VMB do grupo ES-II: foco nos materiais.....	69
Tabela 14 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis do grupo ES-II	69
Tabela 15 – Resultados do teste U de Mann-Whitney no grupo SC-II	70
Tabela 16 – Resultado do teste U de Mann-Whitney do grupo SC-I.....	73
Tabela 17 – Resultado do teste U de Mann-Whitney do grupo SC-II.....	76
Tabela 18 – Teste U de Mann-Whitney do grupo SM-I	79
Tabela 19 – Resultado do teste de Kruskal-Wallis do grupo ES-I sem redutor de VMB.....	83
Tabela 20 – Resultado do teste de Kruskal-Wallis do grupo ES-II sem redutor de VMB.....	86

Tabela 21 – Resultados do teste U de Mann-Whitney no grupo ES-II sem redutor de VMB.....	87
Tabela 22 – <i>Dy</i> para todos os grupos	94
Tabela 23 – Resultado do teste de Kruskal-Wallis para <i>Dy</i>	94
Tabela 24 – Resultado do teste U de Mann-Whitney: Abraçadeiras metálica e abraçadeiras de poliamida	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGAS

a_{whx}	aceleração ponderada no eixo ortogonal de translação “x”
a_{why}	aceleração ponderada no eixo ortogonal de translação “y”
a_{whz}	aceleração ponderada no eixo ortogonal de translação “z”
A_t	aceleração total
$A(8)$	Aceleração normalizada para uma jornada de oito horas
D_y	Tempo de exposição antes do branqueamento dos dedos, em anos
t	tempo de exposição
t_0	tempo de observação (tempo instantâneo)

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais
ahv	distribuição da aceleração total
CBIC	Câmara Brasileira de Indústria da Construção
CCBA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CCOHC	Canadian Centre for Occupational Health and Safety
ELV	Valor Limite de Exposição
EU	União Europeia
Fundacentro	Fundação Jorge Duprat e Figueiredo
HSE	Health and Safety Executive
IPD	Dispositivos de proteção individual
ISO	International Organization for Standardization
LA	Limite de ação
LT	Limite de tolerância
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NIOSH	Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional
NR	Norma Regulamentadora
PA	Punho auxiliar (secundário)
PP	Punho Principal
PGR	Programas de Gerenciamento de Riscos
RMS	Root Mean Square (Valor eficaz ponderado)
rpm	rotações por minuto
STC	Síndrome do Túnel Carpo
SVMB	Síndrome da vibração de mãos e braços
TLV	<i>Threshold Limit Vale</i> , ou limite de exposição ocupacional
VA	Valor de Ação
VT	Valor de tolerância
VCI	Vibração de Corpo Inteiro
VDV	Valor de Dose de Vibração
VLE	Valor Limite de Exposição
VMB	Vibrações Mão-Braço

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	18
1.1.1	Objetivo geral	18
1.1.2	Objetivos específicos.....	18
1.2	Justificativas	18
1.3	Questões orientativas	19
1.4	Delimitação do estudo	19
1.5	Estrutura do trabalho	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Fundamentos da vibração	21
2.2	Modelos de vibrações em mãos e braços	23
2.3	Determinação do valor da vibração	23
2.4	Normatização da vibração ocupacional	26
2.5	Efeitos da vibração de mãos e braços sobre a saúde	31
2.6	Vibração ocupacional na construção civil	36
2.6.1	Vibração ocupacional no corte de madeiras.....	36
2.6.2	Vibração ocupacional no corte de rochas.....	37
2.6.3	Vibração ocupacional no corte de metais.....	39
3	MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1	Materiais	45
3.1.1	Ferramentas elétricas ensaiadas.....	45
3.1.2	Materiais ensaiados.....	48
3.1.3	Disco de corte.....	51
3.1.4	Analisador de vibração e acessórios	52
3.2	Métodos	53
3.2.1	Procedimento	53
3.2.2	Metodologia para tratamento e análise dos dados estatísticos	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1	Resultados da VMB no corte dos materiais de construção	57
4.1.1	Resultados da VMB no corte dos materiais madeireiros	57
4.1.2	Resultados da VMB no corte dos materiais rochosos	62
4.1.3	Resultados da VMB no corte dos materiais metálicos.....	65
4.2	Resultados da VMB utilizando ferramentas elétricas	70

4.2.1	Resultados da VMB utilizando serras circulares	71
4.2.2	Resultados da VMB utilizando serras mármore.....	77
4.2.3	Resultados da VMB utilizando esmerilhadeiras sem dispositivos de redução de vibração	80
4.2.4	Resultados da VMB utilizando esmerilhadeiras com dispositivos de redução de vibração	80
4.3	Tempo para a manifestação da SVMB	93
4.4	Comparação da fixação do adaptador do acelerômetro	95
5	CONCLUSÕES	97
5.1	Conclusões sobre a VMB no corte dos materiais de construção	97
5.2	Recomendações para os empregadores.....	99
5.3	Sugestões para futuras pesquisas sobre VMB.....	99
	REFERÊNCIAS.....	100

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor de grande importância no cenário econômico brasileiro, que, no ano de 2021, cresceu 9,7% em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) nacional; entretanto, nos últimos 4 anos, apresentou resultados negativos, com quedas superiores à própria queda do Produto Interno Bruto (PIB) total. Como resultado desse mau desempenho, a participação do setor no PIB, que chegou a ser de 6,5% em 2012, caiu para 3,7% em 2019. Um dos fatores que prejudica a construção civil é a alta informalidade dos vínculos de trabalho; em 2019, para se ter uma ideia, os trabalhadores do setor que não contribuíam com a Previdência Social representavam 41,9% do total, e os empregados sem carteira de trabalho no setor privado representavam 19,9% (DIEESE, 2020).

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) apresentou um estudo mostrando que a construção civil tem uma taxa de mortalidade média de 4,5 para cada 100 mil trabalhadores, enquanto a taxa de mortalidade média geral é de 5,26. Esse mesmo estudo apontou que as doenças ocupacionais que mais apareceram foram as musculoesqueléticas, respiratórias, de pele e a perda auditiva (CBIC, 2019).

De acordo com Gregório (2017), a vibração de mãos e braços (VMB) está presente em diversas atividades diárias na construção civil devido à utilização, de ferramentas como furadeiras, serras circulares, martelletes, serras mármore etc., nos canteiros de obra. Essa vibração não controlada ou mesmo fora dos limites de tolerância pode gerar a síndrome da vibração de mãos e braços (SVMB).

Para a vibração ser caracterizada como condição insalubre, ou seja, que expõe os empregados a agentes nocivos à saúde, é preciso estar acima do limite de $5,0 \text{ m/s}^2$, estabelecido pela legislação trabalhista e previdenciária; caso esse valor seja ultrapassado, há necessidade de mudança no processo de trabalho (SALIBA, 2019).

Em trabalhadores que estão sujeitos à exposição à VMB é obrigatória a realização de avaliações ambientais da dose deste agente físico, assim como é necessário manter o acompanhamento periódico da saúde do trabalhador (SALIBA, 2019).

De acordo com Palmer e Bonense (2015), na prática há duas formas distintas de vibração: a VMB gerada por ferramentas manuais, com impactos potenciais nos membros superiores, e a vibração de corpo inteiro (VCI), gerada por veículos que afetam principalmente a coluna vertebral.

A VMB ocorre sempre que um indivíduo segura uma ferramenta que vibra, pode ser um instrumento cirúrgico motorizado, polidor de piso, martetele rompedor, pistola de rebitar, guidão de motocicleta ou outros tipos de ferramentas (MANSFIELD, 2005).

Segundo Padilha e Catai (2017), na construção civil a aferição da VMB é ignorada por muitos profissionais da área de segurança do trabalho, devido ao alto custo dos aparelhos que detectam as vibrações transmitidas para o corpo humano.

Em um estudo realizado por Costa *et al.* (2012), no distrito de Bragança, localizado no extremo Nordeste de Portugal Continental, com 75 trabalhadores, sendo 33 trabalhadores expostos à vibração, que utilizavam 11 modelos diferentes de varejadoras mecânicas manuais, os autores apontam que cerca de 66% reportaram sintomas relacionados à exposição a vibrações e, dos 11 modelos avaliados, quatro apresentaram valores de exposição superiores ao valor de ação de exposição legalmente previsto.

A avaliação da vibração ocupacional é um grande desafio, mesmo porque quase sempre é apresentada por método quantitativo; no entanto, há de se considerar outros aspectos quanto à coleta dos dados da vibração aos quais o colaborador está exposto, tais como: forma de montagem do equipamento coletor, posicionamento do equipamento e fixação dos sensores, fatores estes que podem influenciar nos resultados finais.

De acordo com Palmer e Bovenzi (2015), há necessidade de atenção vigilante quanto à saúde dos trabalhadores que permanecem regularmente expostos às vibrações acima do limite de tolerância.

Quando os trabalhadores relatam sintomas como formigamento e dormência após usar ferramentas vibratórias, é provável que sua exposição ao VMB esteja atingindo um nível que pode levar à síndrome de vibração mãos braços (SVMB), o que requer controles para eliminar ou minimizar a exposição, tanto quanto for razoavelmente praticável.

Na indústria da construção, uma das atividades mais corriqueiras é a realização de cortes de materiais diversos: madeira, metais, rochas, cerâmicas, concretos, entre outros tipos, onde são utilizados ferramentais elétricos que geram vibrações.

Ainda que os fabricantes forneçam os valores de vibração descritos nos manuais que acompanham as ferramentas, evidencia-se que não há estudos que

relacionam esses valores indicados nos manuais com as efetivas atividades laborativas. Observou-se que, devido às peculiaridades estruturais no setor de construção, dever-se-ia utilizar um método quantitativo na avaliação laboral, pois na realidade esse monitoramento acaba não sendo realizado, visto que há um alto índice de vínculos informais, terceirização e quarteirização no setor, o que dificulta um levantamento mais efetivo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar a vibração de mãos e braços (VMB) transmitida por ferramentas elétricas no corte de materiais de construção.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta dissertação são:

- avaliar os dados de aceleração ponderada (AP) nos eixos “x”, “y” e “z” e a aceleração total A_t nos punhos principal (PP) e no auxiliar (PA) com foco na variação dos materiais cortados;
- avaliar os dados de aceleração ponderada (AP) nos eixos “x”, “y” e “z” e a aceleração total A_t nos punhos principal (PP) e no auxiliar (PA) com foco na variação dos fabricantes das ferramentas elétricas utilizadas;
- comparar aos modos de fixação do acelerômetro no adaptador;
- avaliar o efeito de acessórios de amortecimento da vibração;
- comparar os níveis de vibração no sistema mão-braço mensurados nas máquinas de corte com os valores referenciados pelas normas nacionais, como a NHO 10 e pela norma europeia, a diretiva 2002/44/EU.

1.2 Justificativas

De acordo com McKinsey e Company (2004) apud Iriart *et al.* (2008), no setor de construção mais de 71% não têm vínculo empregatício formal, isso significa que esse grupo de trabalhadores não têm a devida proteção previdenciária e as medidas

de controle ambiental previstas nos Programas de Gerenciamento de Riscos (PGR) e no Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO).

A vibração ocupacional como um agente insalubre requer controle de exposição e controle médico; entretanto, na construção civil, com relações informais de contratação e subcontratação, terceirização e quarteirização, o controle periódico fica comprometido, principalmente em obras de médio e pequeno porte.

Nas atividades diárias na construção há o uso corriqueiro de equipamentos, como furadeiras, serras, rompedores, vibradores de concreto, etc., que geram vibrações e as transmitem para o trabalhador, o que pode provocar perturbações neurológicas ou musculares, vasculares e lesões ósseo-articulares.

Para esses casos, conhecer os valores de vibração dessas ferramentas elétricas pode auxiliar nas análises de risco na construção civil, fornecer parâmetros para o tempo máximo de manuseio diário.

Portanto, esta pesquisa se justifica por contribuir com os estudos de VMB, apresentando os valores de vibração das ferramentas elétricas utilizadas diariamente no corte de materiais dentro da construção civil.

1.3 Questões orientativas

Conhecer os valores da VMB emitidos por equipamentos motorizados portáteis de corte permite relacioná-los com as condições de saúde dos trabalhadores que os utilizam de modo intensivo, com jornadas de trabalho de 8 horas ou mais.

As questões orientadoras propostas são:

Quais os valores de vibração de mãos e braços no uso de máquinas portáteis de corte empregados na construção civil?

Quais os fatores (variáveis) que são identificados na coleta dos dados de vibração?

Qual o valor do erro? Os valores coletados no campo são aderentes à literatura? Há coerência do método apresentado no NHO 10?

1.4 Delimitação do estudo

Para o desenvolvimento deste trabalho, tomou-se como base os limites estabelecidos na Norma de Higiene ocupacional (NHO 10) (FUNDACENTRO, 2013),

a Diretiva 2002/44/EU, as normas ISO 2631-1 (1997), ISO 8041 (2017), ISO 5349-1 (2001a) e ISO 5349-2 (2001b).

Realizou-se esta pesquisa em campo, avaliando a VMB a que os trabalhadores estavam expostos; nessa amostra, eles não utilizaram luvas anti vibração, por falta de disponibilidade do equipamento de proteção individual (EPI).

De acordo com Hewitt (2015), na operação da grande maioria das ferramentas manuais motorizadas as luvas anti vibração podem reduzir marginalmente a vibração ponderada pela frequência transmitida para a palma da mão, mas reduz pouco da vibração transmitida aos dedos. Somente em alta frequência, (>250 Hz), uma luva anti vibração pode reduzir substancialmente a vibração ponderada em frequência transmitida ao mão, mas são muito raros.

1.5 Estrutura do trabalho

Os dados coletados em campo aconteceram no ano de 2021. Esta dissertação recebeu o título de “Avaliação da Vibração em Mãos e Braços no Corte de Materiais de Construção com Ferramentas Elétricas” e está dividida em cinco capítulos: Introdução, Revisão bibliográfica, Material e métodos, Resultados e discussões e Conclusão.

No primeiro capítulo encontra-se a introdução, os objetivos, as justificativas e a delimitação do trabalho.

No segundo capítulo, é apresentada a revisão bibliográfica para consolidar o embasamento técnico e legal para o desenvolvimento do estudo.

No terceiro capítulo, apresenta-se a Metodologia aplicada na pesquisa.

No quarto capítulo apresentam-se os resultados e as discussões, tomados com base nos resultados obtidos das avaliações realizadas pelo autor.

São apresentadas no capítulo cinco as conclusões e sugestões de estudos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências utilizadas no desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

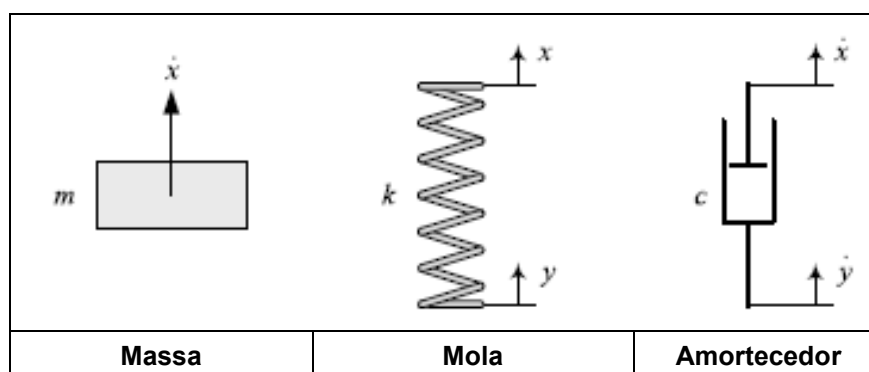
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fundamentos da vibração

As vibrações podem ser definidas como movimentos periódicos que se repetem após um intervalo de tempo, comparados ao movimento de um pêndulo ou a vibração de uma corda esticada. As vibrações podem ser consideradas como ondas que se propagam por meio de movimentos de compressão e dilatação sucessivos de propagação (RAO, 1995).

De acordo com Jazar (2013), os métodos clássicos reduzem a vibração a um sistema equivalente de massa-mola-amortecedor padrão, que tem por finalidade simplificar as análises, conforme a figura 1.

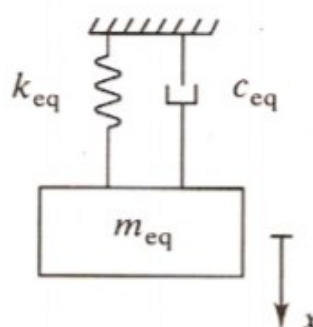
Figura 1 – Modelo clássico do sistema massa-mola-amortecedor



Fonte: Jazar (2013).

Para Silva (2009), todo sistema linear de 1 grau de liberdade com amortecimento viscoso pode ser modelado como um sistema massa-mola-amortecedor, como a figura 2, onde m_{eq} , k_{eq} e c_{eq} são respectivamente a massa equivalente, rigidez equivalente e amortecimento viscoso equivalente.

Figura 2 – Sistema massa mola

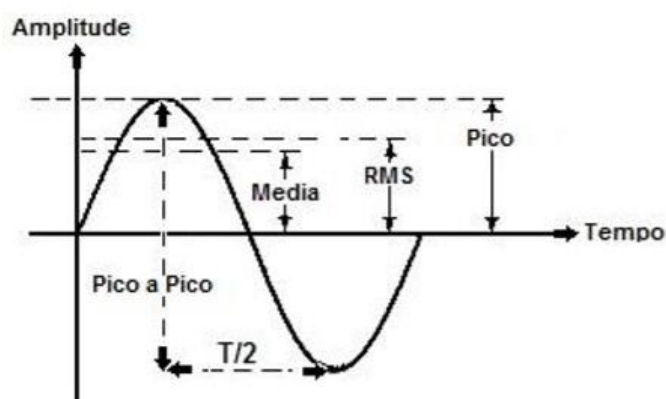


Fonte: Silva (2009).

A vibração mecânica é o resultado da transformação contínua da energia cinética K para energia potencial V , para frente e para trás. Quando a energia potencial está em seu máximo, a energia cinética é zero; e quando a energia cinética está em seu máximo, o potencial de energia é mínimo (JAZAR, 2013).

De acordo com Almeida, Lima e Betega (2018), para se avaliar um sinal vibratório é necessário conhecer os valores de pico, valores médios, *Root Mean Square* (RMS), valor pico a pico, como ilustrado na figura 3:

Figura 3 – Elementos característicos de uma Senoidal



Fonte: Almeida, Lima e Betega (2018).

O valor RMS é a medida de amplitude mais relevante, porque leva em consideração o histórico de tempo da onda e dá um valor de amplitude, que está diretamente relacionado ao conteúdo de energia e, portanto, às habilidades destrutivas da vibração (BRÜEL; KJAER, 2021).

De acordo com Vendrame (2005), o corpo humano possui muitas frequências naturais; de acordo com o tipo de tecidos, da estruturas óssea, e a rigidez característica do biotipo, por outro lado, se uma outra frequência externa, da ferramenta elétrica, por exemplo, combinar com algumas dessa frequências, pode ocorrer um fenômeno de ressonância, que implica em amplificação do movimento.

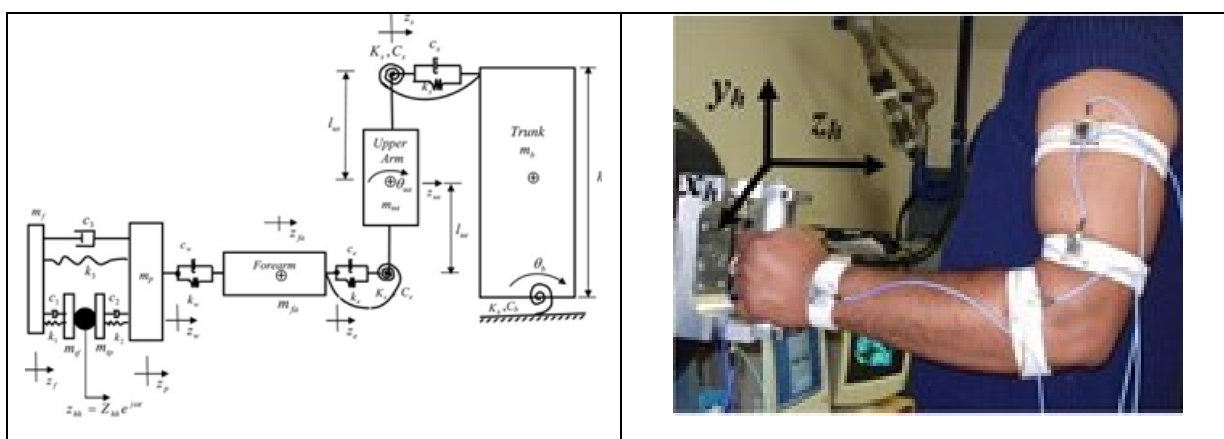
Para Saliba (2004), quando isso ocorre, há uma amplificação do movimento, e a energia vibratória associada a esse efeito é absorvida pelo corpo, com impactos nos tecidos e órgãos.

2.2 Modelos de vibrações de mãos e braços

De acordo com Griffin (1996), para entender os efeitos da VMB, o corpo humano pode ser comparado a um sistema estrutural, em que os ossos seriam os elementos de suporte, como as vigas e colunas de uma construção, sistema este sujeito aos efeitos físicos da vibração.

No entanto, de acordo com Adewusi, Rakheja e Marcotte (2012), mesmo com os avanços tecnológicos, continua sendo uma tarefa desafiadora medir com precisão a transmissão da vibração no sistema mão-braço de um indivíduo. Para ele, enquanto não há método não invasivo viável para medir a vibração dentro do sistema de um ser humano, a medição tem sido realizada com mais frequência na superfície da mão-braço, usando acelerômetros em miniatura, conforme a figura 4.

Figura 4 – Medição da VMB com mini acelerômetros



Fonte: Adewusi, Rakheja e Marcotte (2012).

Desse modo, por não apresentar elementos que se comportam de maneira não linear no sistema, uma solução matemática para tratar a vibração é a adoção do valor RMS para atenuar valores discrepantes, uma vez que é determinado pela raiz quadrada do somatório dos quadrados de todos os valores, dividido pelo tempo de medição (MANSFIELD, 2005).

2.3 Determinação do valor da vibração

Para Soeiro (2011), há quatro fatores físicos que devem ser considerados ao determinar a vibração no corpo humano, que são: intensidade, frequência, direção e duração.

De acordo com Vendrame (2005), a vibração pode ser caracterizada pelo deslocamento, velocidade ou aceleração ou, ainda, em decibéis; no entanto, a aceleração em m/s^2 , tem sido extensivamente utilizada como unidade em vibrações.

Para a VMB, o parâmetro mais usual é a aceleração média, que é obtida por meio do cálculo do valor eficaz RMS (*root mean square*) dos sinais de cada amostra e os sinais discretos, conforme Equação 1.

$$RMS(a_w) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad [m/s^2] \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- $a_w(t)$ é a aceleração ponderada na frequência no instante t ;
- T é a duração da medição.

De acordo com Saliba (2019), o valor total de vibração (A_t) ao qual o sistema de braço é exposto pode ser calculado pela Equação 2, pela obtenção da raiz quadrada da soma dos quadrados das acelerações ponderadas em frequência a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} ao longo dos eixos:

$$A_t = \sqrt{(a_{whx})^2 + (a_{why})^2 + (a_{whz})^2} \quad [m/s^2] \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- A_t é a aceleração total ou a soma dos três eixos;
- a_w é aceleração ponderada na frequência dos eixos “x”, “y” e “z”;
- valor da vibração total em m/s^2 .

Entretanto, caso o trabalhador, no decorrer da jornada (8 horas), ficar exposto a diferentes acelerações ponderadas em frequência distintas, a aceleração total, A_t pode ser obtida a partir da equação 3.

$$AEQ \text{ ou } are = \sqrt{\frac{a_1^2 \cdot t_1 + a_2^2 \cdot t_2 + \dots + a_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad [m/s^2] \quad \text{Equação 3}$$

Sendo: AEQ ou are – Aceleração equivalente ou aceleração resultante da exposição

a_n – valor da vibração obtida

t_n – tempo de exposição à aceleração obtida a_n .

De acordo com Inglês, Peixe e Fradique (2012), a avaliação baseia-se no cálculo do valor da exposição diária normalizada para um período de referência de 8 horas, expressa como raiz quadrada da soma dos quadrados. O valor total $A(8)$ é determinado segundo as coordenadas ortogonais (“x”, “y”, “z”) para uma jornada de oito horas.

Caso a exposição diária à vibração total, A_t , medida for diferente de 8 horas, a exposição equivalente a 8 horas pode ser determinada pela expressão da equação 3.

$$A(8) \text{ ou } a_{ren} = a_{hv,eq} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad [\text{m/s}^2] \quad \text{Equação 4}$$

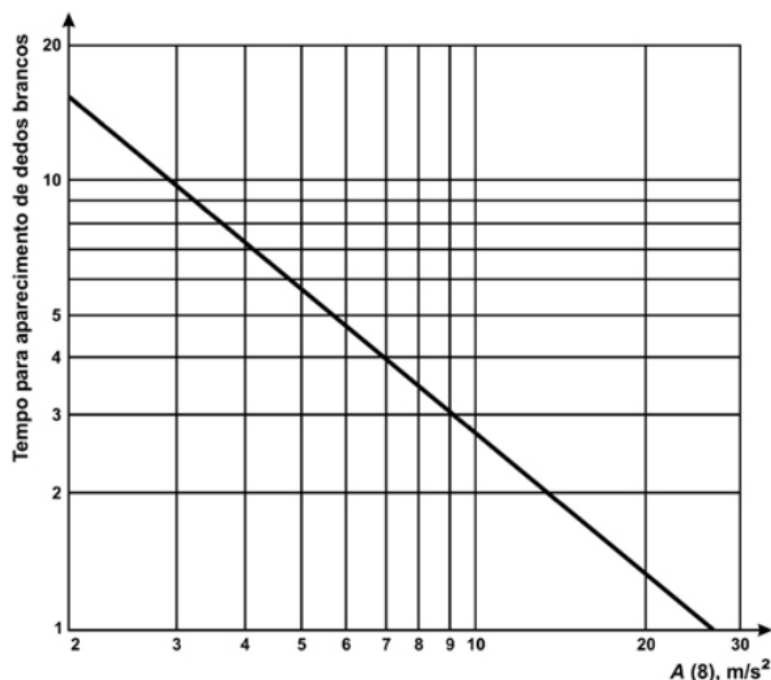
Onde,

- $A(8)$ é a aceleração normalizada pela norma ISO 5349-1:2001 e adotada pela norma NHO 10:2012,
- $a_{(hv,eq)}$ é a aceleração equivalente ou aceleração total, A_t ;
- T é a duração total diária da exposição à vibração,
- T_0 é a duração de referência de 8 horas (480 minutos).

De acordo com Inglês, Peixe e Fradique (2012), a exposição diária à vibração $A(8)$ deve ser avaliada separadamente para ambas as mãos do operador.

De acordo com Saliba (2019), a norma ISO 5349-1:2001 estabelece uma relação dos valores de exposição diária de aceleração $A(8)$ com uma estimativa esperada de 10% dos indivíduos expostos a VMB levam-nos a apresentar síndrome dos dedos brancos, fenômeno de Raynaud, em um determinado número de anos (D_y), o que pode ser representado pelo gráfico da figura 5.

Figura 5 – D_y para manifestação da Síndrome da vibração de mãos e braços (SVMB)



Fonte: ISO (2001a).

O número de anos (D_y) pode ser obtido pela Equação 5.

$$D_y = 31,8 \times A(8)^{-1,06} \quad [\text{anos}] \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

- D_y é a duração total, em anos, da exposição necessária para ocorrência do branqueamento dos dedos;
- $A(8)$ – Exposição diária normalizada para um período de 8 horas.

2.4 Normatização da vibração ocupacional

A exposição ocupacional à vibração pode ser classificada em dois tipos: a vibração de corpo inteiro (VCI), cujas frequências vão de 1 a 40 Hz, e a vibração de mãos e braços, cuja frequências nocivas à saúde vão de 1 a 1200 Hz (SALIBA, 2019).

De acordo com a norma ISO 2631/1 (ISO, 1997),

- As vibrações são transmitidas ao corpo inteiro por meio de superfícies de sustentação, como os pés em uma pessoa em pé, região pélvica em um indivíduo sentado ou a área de sustentação de uma pessoa recostada, comum em veículos.

- As vibrações são localizadas, quando são aplicadas a partes específicas do corpo, como cabeça e membros. Exemplos destas vibrações ocorrem por meio de cabos, pedais ou suportes em certa variedade de ferramentas e instrumentos manuais.

Conforme Griffin (1998), a norma ISO 2631/1:1997 tem algumas limitações, como o fato de não fornecer parâmetros sobre a população analisada e a instrumentação utilizada na medição da vibração; mesmo assim, apresenta-se como uma das principais referências na avaliação da sensibilidade humana à vibração.

Os critérios limites de exposição à vibração e a saúde e segurança da população foram propostos em 1967 e incorporados nas normas ISO em 1974, descritas no quadro 1.

Quadro 1 – Normas ISO que tratam da VCI e da VMB

Normas ISO	Edições	Título traduzido	Objetivos
ISO 2631-1	1974 1978 1985 1997	Choque de vibração mecânica – Avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro - Parte 1.	Definição de métodos de avaliação relacionados à saúde e ao conforto humano.
ISO 8041	2005 2017	Resposta humana à vibração – Instrumentação de Medição.	Definição das funções de transferência para as funções de compensação e apresentação da nomenclatura utilizada na área.
ISO 5349-1	2001	Vibração mecânica – Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida pela mão – Parte 1.	Especifica os requisitos gerais para medir e relatar a exposição à vibração transmitida pela mão em três eixos ortogonais.
ISO 5349-2	2001	Vibrações mecânicas; Medição e avaliação da exposição dos indivíduos às vibrações transmitidas ao sistema mão-braço; Parte 2: Orientações para medições nos locais de trabalho.	Orienta os procedimentos para a coleta da vibração no local de trabalho.

Fonte: Adaptado de Balbinot (2001).

A norma ISO 5349-2:2001 apresenta os procedimentos mais utilizados para avaliar o risco de desenvolver SVMB, que define e padroniza a magnitude das vibrações nas mais variadas atividades industriais, baseado em um modelo idealizado em que o risco é previsto para um grupo de trabalhadores. De acordo com essa padronização, tem-se que as menores frequências de vibração são mais danosas ao corpo humano do que maiores frequências. Essa informação contribui para o fato de

que o objetivo central deste estudo que é entender como elas se comportam quando interagem com as frequências naturais do corpo humano (MANSFIELD, 2005).

Entretanto, de acordo Gerhardsson et al. (2020), uma alta prevalência de SVMB e achados neurossensoriais foi observada em exposição a vibrações de frequência dentro da faixa da norma ISO 5349-1 e estava claramente abaixo do limite de ação ($2,5 \text{ m/s}^2$). Outro grupo de estudo teve exposição a vibrações de alta frequência ($> 1250 \text{ Hz}$) que não são consideradas na norma ISO 5349-1 e apresentaram alta prevalência de sintomas e sinais relacionados à vibração.

De acordo com Saliba (2019), a norma ISO 5349-1 estabelece a ponderação por frequência em função da sensibilidade de resposta da mão nas diferentes frequências, conforme a curva da ISO 8041:2005.

Deste modo, a importância da frequência ponderada ocorre pela possibilidade de filtrar as frequências que causam danos à saúde, e com a ponderação é possível obter um valor representativo da aceleração para um dado período.

De acordo com o Health and Safety Executive (HSE, 2019), o valor de Ação de Exposição (EAV), ou Limite de Ação, é uma quantidade diária de exposição à vibração acima da qual os trabalhadores são obrigados a tomar medidas para controlar a exposição, enquanto o Valor Limite de Exposição (ELV), ou Limite de tolerância, é a quantidade máxima de vibração que os trabalhadores podem ser expostos por dia. Para a vibração mão-braço, o EAV é uma exposição diária de $2,5 \text{ m/s}^2 \text{ A}(8)$ e o ELV é uma exposição diária de 5 m/s^2 em uma jornada de 8 horas de exposição diária A(8).

No Brasil, a Norma Regulamentadora (NR-9) estabelece o nível de ação para a avaliação da exposição ocupacional diária à vibração em mãos e braços corresponde a um valor de aceleração resultante de exposição normalizada (aren), de $2,5 \text{ m/s}^2$ e o limite de exposição ocupacional diária à vibração em mãos e braços corresponde a um valor de aceleração resultante de exposição normalizada (aren), de 5 m/s^2 (BRASIL, 2021a).

De acordo com Saliba (2019), quando o valor da vibração resultante da exposição é superior a 5 m/s^2 para uma jornada de 8 horas A(8), essas atividades laborais podem ser consideradas insalubres de acordo com o Anexo 08 da Norma Regulamentadora (NR) nº 15 – Atividades e operações insalubres.

A norma NHO 10 apresenta um guia completo para realização dos ensaios de VMB, com casos aplicados, referências normativas, definições, símbolos, abreviaturas

e correlações, critério de avaliação da exposição ocupacional, além de propor o conceito de *componente de exposição* como elemento a ser determinado pelo avaliador e utilizado na estimativa da exposição diária (FUNDACENTRO, 2013).

De acordo com Saliba (2019), na NHO 10 os valores inferiores a $2,5 \text{ m/s}^2$ são aceitáveis. Valores entre $2,5$ e $3,5 \text{ m/s}^2$ estão acima do nível de ação e exigem medidas preventivas. Valores de vibração entre $3,5$ e $5,0 \text{ m/s}^2$ estão em uma região de incerteza, quando o valor aferido de VMB pode estar entre o limite de ação e o limite de tolerância, considerando os erros da medição. Já valores maiores que 5 m/s^2 estão acima do limite de tolerância e devem ser adotadas medidas corretivas imediatas, conforme o quadro 2.

Quadro 2 – Valores estabelecidos pela NHO 10

Aren (m/s²)	Consideração técnica	Atuação recomendada
$0 < A(8) \leq 2,5$	Aceitável	No mínimo, a manutenção da condição existente.
$2,5 < A(8) \leq 3,5$	Acima do nível de ação	No mínimo, adoção de medidas preventivas.
$3,5 < A(8) \leq 5,0$	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.
$A(8) > 5,0$	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas.

Fonte: Fundacentro (2013).

De acordo com Brasil (2021b), no anexo 8 da NR 15, caracteriza-se a condição insalubre caso seja superado o limite de exposição ocupacional diária a VMB correspondente a um valor de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de 5 m/s^2 .

Na União Europeia, adota-se um limite de ação de $2,5 \text{ m/s}^2$ e um limite de exposição de $5,0 \text{ m/s}^2$, estabelecido pela Diretiva 2002/44/EC (EC, 2002), conforme quadro 3.

Quadro 3 – Valores de VMB apresentados pela Diretiva 2002/44/EC

Nível de ação A(8)	Limite de exposição A(8)
$>2,5 \text{ m/s}^2$	$>5,0 \text{ m/s}^2$

Fonte: EC (2002).

Segundo a Fundacentro (2013), o nível de ação está relacionado ao valor acima do qual devem ser adotadas ações preventivas de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições à vibração causem danos à saúde do trabalhador.

Por outro lado, deve ser evitado que o limite de exposição (LE) seja ultrapassado. Portanto, o LE é o parâmetro de exposição ocupacional que representa condições às quais se acredita que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta, repetidamente, sem sofrer efeitos adversos ao sistema mão-braço que possam resultar em danos à saúde do trabalhador.

De acordo com a Comissão Europeia (EC, 2002), a Diretiva 2002/44/EC fixa como níveis de referência de prevenção os valores de limite de ação e exposição, descrevendo três situações:

- situações de baixo risco, $A(8) < 2,5 \text{ m/s}^2$, que são exposições para as quais manter em geral a atenção é suficiente (por exemplo, o controle médico de trabalhadores ou a compra de equipamentos específicos capazes de transmitir menores valores de vibrações, etc.);
- situações intermediárias entre o nível de ação e os valores-limite de exposição (que é $2,5 \text{ m/s}^2 < A(8) < 5,0 \text{ m/s}^2$), que determinam a necessidade de intervenção, como com a criação de um programa de bonificação e monitoramento de saúde;
- situações de alto risco ($A(8) > 5,0 \text{ m/s}^2$), que determinam uma intervenção imediata por meio da introdução de intervalos dos trabalhadores expostos ou da utilização de EPI (equipamento de proteção individual) apropriados, enquanto se aguarda a implementação de intervenções técnicas a fim de levar as condições de exposição a valores mais baixos do que $A(8) = 5,0 \text{ m/s}^2$.

Conforme Saliba (2019), esses valores são os mesmos que o critério da diretiva 2002/44/EU, da NHO 10 e valores da NR 15.

Segundo Vendrame (2005), os limites de tolerância para VMB propostos pela Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais (ACGIH) referem-se aos níveis e tempos de exposição para os quais se acredita que a maioria dos trabalhadores possa ser repetidamente se exposta dia após dia (VENDRAME, 2005). Esses valores podem ser observados no quadro 4 e que não deveriam ser excedidos.

Quadro 4 – Limites para a exposição da mão em qualquer das direções x_h , y_h e z_h

Duração em horas do total da exposição diária	Valores da componente de aceleração dominante, RMS, ponderada em frequência, que não devem ser excedidos a_k (a_{keq})
Tempo	m/s^2
4 horas e menos de 8	4
2 horas e menos de 4	6
1 hora e menos de 2	8
Menos de 1 hora	12

Fonte: ACGIH (2013) apud SALIBA (2019).

De acordo com Gonçalves (2015), os parâmetros da ACGIH eram mais restritivos e, de certa forma, mais inteligentes, pois limitam os valores de vibração aos respectivos tempos aos quais o trabalhador está sujeito. Dessa forma, o indivíduo até pode ficar exposto a um valor acima de $5 m/s^2$, mas com um tempo reduzido de exposição à vibração.

Entretanto, de acordo com Saliba (2019), este critério está em desuso, por isso a ACGIH alterou o limite de exposição para a VMB, adotando o mesmo limite da Comunidade Europeia, ou seja, $5 m/s^2$. Deste modo, o tempo de exposição se expressa pela equação 6:

$$t_{\text{exposição}} = 480 \times \frac{5 m/s^2}{a_{\text{medida}}} \quad [\text{min}] \quad \text{Equação 6}$$

Desse modo, com a aceleração total, resultante da soma dos três eixos (“x”, “y” e “z”), utilizando-se a equação 2, calcula-se o tempo em que o trabalhador pode ficar exposto a VMB. Oferecendo uma maneira de controlar o tempo de exposição à vibração.

2.5 Efeitos da vibração de mãos e braços sobre a saúde

De acordo com Griffin (1996), a vibração é considerada um agente nocivo à saúde e está presente em várias atividades laborativas. Geralmente vibrações geradas por veículos em movimento (ônibus, trator ou máquina agrícola), que são transmitidas para o corpo inteiro, e aquelas geradas por ferramentas motorizadas (elétricas, combustão ou pneumáticas) são absorvidas pelas mãos e pelos braços.

De acordo com Palmer e Bovenzi (2015), a exposição à VMB surge de muitas fontes, incluindo motosserras, esmerilhadeiras, rompedores de concreto, polidores de

metal e cinzéis elétricos, desincrustadores de agulha, cortadores de grama elétricos e até guidões de motocicletas, conforme a figura 6.

Figura 6 – Atividades com exposição à VMB



Fonte: Palmer e Bovenzi (2015).

Nas mãos e nos braços os efeitos perigosos da vibração incluem dormência episódica, formigamento e branqueamento dos dedos, dor, redução na força de preensão e destreza dos dedos (NIOSH, 1997).

Pesquisas de Bovenzi, Franzinelli e Strambi (1988) relacionam a síndrome dos dedos brancos à exposição à vibração de perfuradores e cortadores de pedra em um grupo de trabalhadores de pedreiras e moinhos.

Conforme a agência Executiva de Saúde e Segurança (HSE) do Reino Unido, estimou-se que quase dois milhões de pessoas no mundo estão em risco devido à vibração, SVMB é evitável, entretanto, casos os trabalhadores sofram o dano, isso pode ser permanente (HSE, 2016).

De acordo com Mansfield (2005), as melhorias na compreensão dos riscos à saúde do indivíduo e a maior disponibilidade de ferramentas de baixa emissão de vibração podem reduzir a incidência de lesões causadas por vibrações transmitidas pelas mãos e braços.

Conforme o Centro Canadense de Saúde e Segurança Ocupacional (CCOHC), os elevados níveis de vibração podem causar alterações nos tendões, músculos, ossos e articulações, e afetar o sistema nervoso (CCOHC, 2019).

De acordo com Weir e Lander (2005), a síndrome de vibração mão-braço (SVMB) refere-se a um conjunto de sinais e sintomas vasculares, neurológicos e

musculoesqueléticos que podem ocorrer em trabalhadores que usam ferramentas vibratórias portáteis.

Alguns efeitos relatados sobre a SVMB têm uma conexão ocupacional bem estabelecida, como o fenômeno de Raynaud secundário (dedo branco induzido por vibração), neuropatia digital e síndrome do túnel do carpo (PALMER; BOVENZI, 2015).

Para Gemne, Lundström e Hansson (1997), há ao menos acordo sobre a relação causal entre a exposição à vibração mão-braço e síndrome do túnel carpal (STC); entretanto, a síndrome também foi encontrada entre pessoas que não são expostas à vibração, mas realizam tarefas repetitivas, movimentos vigorosos com ou sem mão, e com ferramenta retida.

De acordo com Stapleton (2006) apud Harris-Adamson (2013), a STC é uma neuropatia periférica comum resultante da compressão do nervo mediano sob o ligamento transversal do carpo no punho.

Conforme aponta Olsen (2007), a resposta fisiológica do organismo pode representar um reflexo vasoconstritor simpático central exagerado, desencadeado por exposição prolongada à vibração; também pode apresentar alterações locais nos vasos digitais, por exemplo, espessamento da parede muscular, dano endotelial e alterações funcionais do receptor.

Para Heaver *et al.* (2011), a exposição à vibração causa vasoconstrição nas artérias das mãos e dos dedos, hipertrofia da parede do músculo liso, fibrose periarterial e danos às células endoteliais e receptores. Nos nervos, o edema tecidual e o vasoespasmos da exposição à vibração podem causar perda sensorial baseada na desmielinização do nervo, atrofia axonal e degeneração dos corpos celulares, bem como fibrose e proliferação das células de Schwann.

De acordo com Saliba (2019), até 1987 a avaliação do fenômeno de Raynaud, ou a síndrome da vibração de mãos e braços (SVMB), se baseava na escala de Taylor-Pelmear, quando foi então substituída pela metodologia estabelecida no Encontro de Estocolmo. Esta metodologia classifica os agravos apresentados pelos afetados pela doença de acordo com sua extensão e gravidade, conforme apresentado no quadro 5.

Quadro 5 – Classificação do fenômeno de Raynaud induzido pela VMB

Estágio	Grau	Descrição
0		Nenhuma manifestação.
1	Leve	Manifestações ocasionais, afetando apenas as pontas de um ou mais dedos.
2	Moderado	Manifestações ocasionais afetando as falanges médias e distais (ocasionalmente as proximais) de um ou mais dedos.
3	Severo	Manifestações frequentes, afetando todas as falanges da maioria dos dedos.
4	Muito severo	Como no estágio 3, com alterações tópicas da pele da ponta dos dedos.

Fonte: ACGIH (2018), apud SALIBA (2019).

No Workshop de Estocolmo em 1986, sugeriu-se um tipo semelhante de escala para aplicação em sensorineural aplicada aos aspectos da SVMB, onde os estágios progridem de 0SN, quando o indivíduo é exposto à vibração, mas sem sintomas, até 3SN, para os casos mais graves, conforme o quadro 6.

Quadro 6 – Classificação de estágios sensorineurais de SVMB

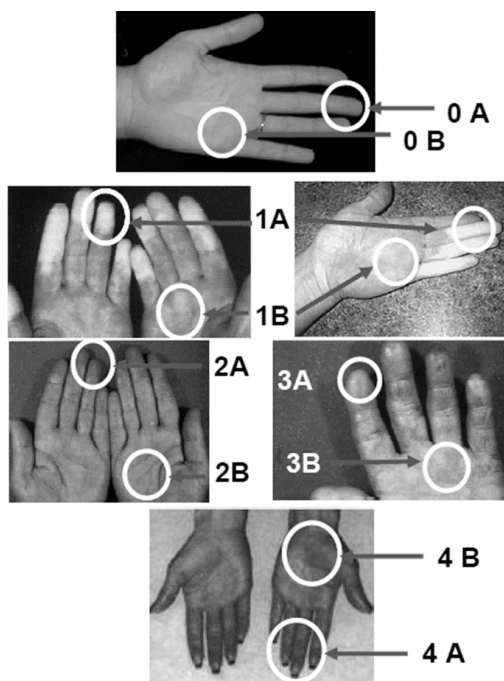
Estágio	Descrição
0SN	Exposto a vibração sem sintoma.
1SN	Adormecimento intermitente, com ou sem formigamento.
2SN	Adormecimento intermitente ou persistente, percepção sensorial reduzida.
3SN	Adormecimento intermitente ou persistente, redução da discriminação tátil e ou destreza manipulativa.

Fonte: ACGIH (2018) apud SALIBA (2019).

Conforme Palmer e Bovenzi (2015), os usuários de ferramentas vibratórias motorizadas costumam sentir um formigamento nos dedos. Inicialmente, os sintomas são transitórios e desaparecem rapidamente após o uso; entretanto, se as exposições forem altas o suficiente para um período, podem se desenvolver sintomas como insônia, dormência transitória e permanente. Por isso, há casos em que o indivíduo já está no estágio 1SN, porém, ao consultar com um profissional médico, não se relaciona esses sintomas com a VMB, devido à natureza intermitente da doença.

Um sistema para alocar um valor numérico ponderado para cada falange afetada e calcular uma pontuação geral para branquear os dedos em cada mão foi proposto por Griffin, conforme a figura 7.

Figura 7 – Sequência numérica da evolução da SVMB



Fonte: Griffin (1996).

De acordo com Griffin e Bovenzi (2007), a região “A” refere-se às pontas dos dedos, e a região “B”, à palma da mão. Os pontos “0A” e “0B” referem-se a uma mão saudável, sem manifestação da doença. Os pontos “1A” e “1B” mostram o início da síndrome em mãos expostas à vibração. Os pontos “2A” e “2B” demonstram regiões das mãos com restrições da circulação sanguínea. Nos pontos “3A” e “3B”, há um processo inflamatório crônico instalado, cianose. Nos pontos “4A” e “4B” há a morte do tecido celular, a acrocianose, podendo haver, neste estágio, a necessidade de amputação dos dedos.

Para Palmer e Bovenzi (2015), os usuários de ferramentas vibratórias motorizadas costumam sentir um formigamento nos dedos. Inicialmente, os sintomas são transitórios e desaparecem rapidamente após o uso; no entanto, com altas doses de exposição por tempo suficiente, podem surgir crises prolongadas e incômodas que afetam o sono, dormência transitória e permanente. Em estágios avançados, o exame clínico pode revelar anormalidades, mas, antes desses achados físicos, falta sensibilidade e repetitividade.

Dessa forma, na síndrome do dedo branco, há contração espasmódica dos vasos sanguíneos, que degeneram gradativamente os tecidos musculares e nervosos, fazendo com que alguns dedos se tornem brancos e depois azuis; nos casos graves, podem evoluir para úlceras na pele e gangrenas (XIMENES, 2006).

Portanto, a VMB apresenta um risco para a saúde do trabalhador e deve ser motivo de pesquisas, estudos e vigilância permanente.

2.6 Vibração ocupacional na construção civil

De acordo com Palmer e Bovenzi (2015), as exposições são particularmente comuns na indústria da construção e de engenharia pesada, onde podem surgir exposições significativas em muitas ocupações, incluindo construtores, metalúrgicos, soldadores, engenheiros florestais, construtores navais, trabalhadores de fundição e operários.

2.6.1 Vibração ocupacional no corte de madeiras

A madeira é um material amplamente utilizado na indústria da construção. Em 2018, a produção brasileira de madeira serrada alcançou 9,1 milhões de m³ e a produção de compensados a partir de árvores plantadas atingiu 2,7 milhões de m³, dos quais 1,8 milhão destinados à exportação (IBÁ, 2019).

A madeira pode ser utilizada em todas as etapas de uma obra de construção civil convencional (IPT, 2021). De acordo com Zenid (2011), de modo temporário, na instalação do canteiro de obras, nos andaimes, nos escoramentos e nas fôrmas, e de forma definitiva, como esquadrias, nas estruturas de cobertura, nos forros, nos pisos, em pontes.

De acordo com o SESI (2015), a serra circular portátil é uma das ferramentas mais úteis e populares que existem no mercado para o corte da madeira. A figura 8 ilustra uma serra circular utilizada em canteiros de obras.

Figura 8 – Serra circular utilizada no corte de madeira



Fonte: Makita® (2020).

Um estudo realizado em 2017 com empresas que atuam na silvicultura e no processamento de madeira apontou a vibração e o ruído como fatores de risco no processamento de madeiras (SORANSO, 2019).

Flores e Vergara (2020), ao avaliarem a vibração no manuseio de 7 lixadeiras orbitais, utilizadas para lixar madeiras em marcenarias, como a coleta de dados da de aceleração instantânea a_j (t), em períodos de medição de 20 e 60 segundos, apontaram uma a aceleração resultante de exposição normalizada (a_{ren}) em média de $6,67 \text{ m/s}^2$ para um tempo de exposição de 435 minutos. Neste estudo, 57% das lixadeiras estavam acima do limite de exposição.

De acordo com Rimell *et al.* (2008), após realizar 656 medições feitas em 105 modelos de ferramentas elétricas comumente encontradas na indústria, as serras circulares apresentaram VMB abaixo do limite de ação, considerando a Diretiva da União Europeia e ANSI S2.70 (2006).

2.6.2 Vibração ocupacional no corte de rochas

Devido à grande variedade e versatilidade, as rochas vêm sendo utilizadas no decorrer da história em diversas situações por engenheiros, arquitetos e artesãos, estimulando a criatividade dos profissionais de construção civil (FRASCÁ, 2002).

Rochas são materiais cujas propriedades decorrem da sua natureza, sendo então inerentes ao modo de formação, às inter-relações com outros corpos rochosos, à composição mineral, à granulação e às alterações, deformações e outras modificações resultantes dos processos de geológicos a que foram submetidas Tal aspecto torna praticamente cada rocha única, tornando o estudo desses materiais e de suas propriedades um tema bastante complexo e particular (FRASCÁ, 2014).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2018), o comércio de rochas ornamentais representa um setor da economia que tem muita importância no mercado da construção civil, com uma produção de mais de 9,2 milhões de toneladas anuais e com uma considerável variedade de produtos.

De acordo com Ribeiro, Pinto e Starling (2002) apud Frascá (2014), os travertinos constituem uma variedade de rocha calcária, de cor bege, formada pela precipitação química a partir de águas superficiais ou subsuperficiais ao redor de

fontes, especialmente termais, muito utilizada em revestimentos, que ocorre na região de Ourolândia (BA); geologicamente é um calcrete ou caliche.

Conforme Frascá (2014), as rochas compostas essencialmente de quartzo são produtos da recristalização de sedimentos silicosos: quartzo, arenitos ou cherts. Comumente, têm cor branca, com variações para vermelho (pela presença de hidróxidos de ferro) e até azul (dumortierita quartzitos: “Azul Macaúbas”).

De acordo com Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Eber (2022), as ardósias são rochas de metamorfismo regional ou de carga, que ampla utilização comercial como piso, na indústria ornamental, pode possuir composição química de aluminosa, sílico-aluminosa, sílico-alumino-carbonática, etc. Os arenitos são rocha clástica, cujas partículas apresentam tamanho de areia muito fina e a areia muito grossa, com menos de 25% de feldspatos e menos de 20% de minerais de argila em sua composição; com cimento subordinado. Já as rochas de mármore apresentam texturas que variam consideravelmente, com granulação variando de fina a média. Em alguns mármore os grãos de carbonato estão dispostos em mosaico granoblástico equigranular, porém, os grãos aparecem com contatos denteados com maior frequência.

Os canteiros de obras recebem, de empresas de marmorarias, as peças cortadas nas medidas e com os acabamentos. Nesse seguimento, realizou-se um estudo precursor no Brasil sobre a exposição à vibração em mãos e braços, que foi a base da NHO 10 (CUNHA, 2006).

Segundo Barbosa (2014), a serra mármore se destaca por sua versatilidade em função da sua leveza, eficiência e operação prática e tem sido cada vez mais utilizada no setor para o corte de diversos tipos de materiais de construção, entre eles, as rochas ornamentais, conforme a figura 9.

Figura 9 – Serra mármore utilizada no corte de mármore



Fonte: Makita® (2020).

Segundo a NBR 15910 (ABNT, 2010), a serra mármore é especificamente projetada para cortes de pedras em geral, concretos, alvenarias, materiais vítreos e revestimentos cerâmicos.

2.6.3 Vibração ocupacional no corte de metais

O uso do aço como matéria-prima na construção aumenta a produtividade, diminui os desperdícios, apresenta mais agilidade na execução, redução da mão de obra, se comparado com o sistema convencional de concreto armado; além disso, tem melhor relação custo/benefício (RODRIGUES, 2006).

A construção civil é o maior consumidor do aço, com um volume equivalente a 300 milhões de toneladas por ano no mundo (CIMM, 2015).

Os aços utilizados na construção civil apresentam diversos perfis, como chapas, cantoneiras, vigas “I”, vigas “U”, barras e vergalhões. Diversos perfis são empregados em estruturas de média e alta resistência mecânica, possibilitados pelos conhecimentos acerca da sua resistência, ductilidade e outras propriedades, bem como um rigoroso processo de controle de qualidade (CBCA, 2014).

De acordo com Groover (2014), os cortes dos materiais metálicos podem ser realizados de diversas formas: pelo processo de arco de plasma, pelo sistema oxiacetileno (maçarico), por cisalhamento (prensas e guilhotinas), por usinagem (torno, plainas, serras, fresas, esmerilhadeira, etc.) ou pelo corte a laser.

De acordo com a DIN 8580 (2003), um dos processos utilizados para cortar materiais metálicos é a usinagem, onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco, por intermédio de um disco, com grãos abrasivos de alta dureza, unidos por um ligante. Stemmer (1995) afirma que esses grãos devem ser muito duros, termicamente estáveis e quimicamente estáveis.

No processo de corte de chapas até 10 mm, utiliza-se a esmerilhadeira, também chamada de esmeriladora, rebarbadora ou retificadora, que são ferramentas elétricas que servem para cortar, polir, lixar e fazer acabamentos em peças de aço e estruturas metálicas em geral. Multifuncionais, realizam serviços em outros tipos de materiais, como o concreto, cerâmica e mármore (CEC, 2022).

As esmerilhadeiras são mais potentes, com modelos que variam de 5.500 a 11.000 rpm; em segundo lugar está a lixadeira, que possui modelos de 4.000 a 6.600 rpm; em terceiro, a politriz, com modelos de até 3.300 rpm (CONNECTA FG, 2018).

Visualmente não há diferenças entre as esmerilhadeiras, lixadeiras e politrizes; tais diferenças somente podem ser conhecidas consultando os dados da plaqueta do equipamento ou manual técnico. Na figura 10, um exemplo de esmerilhadeira da marca Bosch®.

Figura 10 – Esmerilhadeira utilizada para o /corte de metais



Fonte: Bosch® (2020).

De acordo com Griffin (1996), os efeitos da SVMB foram verificados em indivíduos que utilizavam esmerilhadeiras, lixadeiras e politrizes elétricas e pneumáticas.

Dinis *et al.* (2016), ao avaliarem a vibração no manuseio em “lixadeiras” de 4, 7 e 9 polegadas, utilizadas nas atividades de esmerilhamento, demonstraram que os colaboradores estavam expostos a acelerações acima do limite de exposição de 5 m/s^2 . Nos ensaios com a ferramenta de 4”, encontraram uma vibração de $22,0 \text{ m/s}^2$; para a ferramenta de 7”, uma vibração de $9,06 \text{ m/s}^2$; e para uma ferramenta de 9”, uma vibração de $10,10 \text{ m/s}^2$. O tempo total de trabalho diário dos trabalhadores avaliados era de 320 minutos e estava acima do tempo permitido calculado, que seria de, no máximo, 24 min., 146 min. e 117 min., respectivamente. Portanto, nos trabalhadores expostos o tempo para desenvolver a SVMB era inferior a 4 anos, para os três equipamentos observados, conforme o quadro 7.

Quadro 7 – Resultados das medições de vibração de mãos e braços em lixadeiras

Equipamento	Acelerações ponderadas (m/s ²)			Aceleração Total (m/s ²)	Tempo máximo de exposição (min)	Dy (anos)
	x	y	z			
“Lixadeira” 4”	12,44	9,60	15,40	22,00	24,79	1,46
“Lixadeira” 7”	3,49	6,70	5,00	9,06	146,22	3,81
“Lixadeira” 9”	5,70	6,88	4,71	10,10	117,64	3,40

Fonte: Diniz *et al.* (2016).

Para Piette, Gomes-Ferreira e Malchaire (1995), com uma VMB de $5,5 \pm 2,7$ m/s², há risco de 42% dos indivíduos expostos apresentarem a SVMB em 20 anos.

De acordo com Tyner (1998), as principais fontes de variação na vibração estão relacionadas com o projeto da ferramenta elétrica, o equilíbrio do disco e a largura da peça de trabalho.

Conforme Liljelind *et al.* (2009), em ensaios realizados em laboratório, com 4 esmerilhadeiras, verificou-se que as esmerilhadeiras sem uma unidade de auto balanceamento apresentaram os valores médios de vibração maiores do que as esmerilhadeiras com balanceamento automático, tanto no punho principal quanto no punho auxiliar.

Deste modo, Liljelind *et al.* (2013), apontaram que mais de 90% da variabilidade da vibração é atribuída à marca das ferramentas, sendo um fator dominante e ao disco utilizado. Também, concluíram que o efeito geral devido ao operador foi pequeno.

Portanto, conforme Geres (2000), a melhor maneira é reduzir a vibração na fonte, com o emprego de isoladores de vibrações e choques. Desse modo, alguns fabricantes desenvolveram melhoramentos nas esmerilhadeiras, que têm sido ofertados no mercado interno.

De acordo com o fabricante da marca Bosch® (2020), o sistema “*Liberation Control*” gera até 70% menos vibração, citando a Norma Europeia DIN EN 50144-2-3 (Requisitos especiais para esmerilhadeiras, polidoras e esmerilhadeiras com disco abrasivo), com o duplo controle de vibração nas empunhaduras principal e auxiliar; nestes modelos, utilizou-se materiais especiais (polímeros) para realizar a absorção da vibração, como observou-se no modelo GWS 22-180 LVI, conforme a figura 11.

Figura 11 – Esmerilhadeiras do fabricante Bosch® GWS 22-180 LVI



Fonte: Bosch® (2020).

O manual do fabricante do modelo GWS 24-180 LVI informa que, na tarefa de desbastar uma superfície áspera, a vibração total é de $8,5 \text{ m/s}^2$, com uma incerteza $K = 1,5 \text{ m/s}^2$; no entanto, não há informação sobre a tarefa de corte, bem como há poucas informações abertas sobre a nova tecnologia.

Já o fabricante Makita® (2020) disponibilizou nas novas esmerilhadeiras um mecanismo denominado “*Super Joint System*® (SJS e SJS II)”, que ajuda a evitar a queima do motor e melhora a eficiência, segurança e durabilidade da ferramenta. As esmerilhadeiras com SJS II possuem um came e uma mola de lâmina adicionados ao fuso que absorve o movimento do disco e evita a transmissão de vibração, conforme observou-se na figura 12.

Figura 12 – Esmerilhadeira com o SJS II do fabricante Makita®



Fonte: Makita® (2020).

De acordo com a Makita® (2020), essas novas esmerilhadeiras possuem um sistema de mola, que, ao estender-se, aumenta a força de tensão entre o pinhão de ataque e o eixo do induzido, reduzindo a vibração da ferramenta. Com isso, os usuários podem operar a máquina por mais tempo, antes de atingir o valor de ação de exposição à vibração.

Observou-se, que alguns fabricantes de esmerilhadeira estão buscando desenvolver ferramentas que gerem menos VMB ou que as isolem, de modo a proteger a saúde do trabalhador e atender os critérios da NHO 10 e da Diretiva 2002/44/EU (FUNDACENTRO, 2013; EC, 2002).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este terceiro capítulo destina-se a apresentar a metodologia utilizada ao longo da pesquisa, dando ênfase à classificação, à área de estudo e aos instrumentos e variáveis utilizados.

O trabalho foi composto de uma pesquisa de campo com levantamento dos dados sobre a VMB estudados e comparação dos resultados com a legislação vigente. Os ensaios foram realizados entre janeiro e setembro de 2021, com os grupos SC-I, SC-II, SM-I, ES-I e ES-II e em fevereiro de 2022, com os grupos ES-I-M e ES-II-M, no município de Araucária-PR.

Para verificar os níveis da vibração de mãos e braços (VBM) a que estão sujeitos os trabalhadores da construção civil durante o corte de diferentes materiais de construção utilizando equipamentos elétricos portáteis, desenvolveu-se um procedimento experimental padronizado.

Executou-se cortes nos materiais dos grupos SC-I, SM-I, ES-I e ES-I-M, fixando o acelerômetro no punho principal para as serras circulares, as serras mármores e as esmerilhadeiras, e nos grupos SC-II, ES-II e ES-II-M, no punho auxiliar para as serras circulares e as esmerilhadeiras, conforme o quadro 8.

Quadro 8 – Formação dos Grupos e as principais variações do experimento

Grupos	Ferramentas elétricas	Materiais cortados	Punhos	Processos
SC-I	Serra Circular (SC)	madeira	principal	corte seco
SC-II			auxiliar	corte seco
SM-I	Serra Mármore (SM)	rocha ornamental	principal	corte molhado
ES-I	Esmerilhadeiras sem redutor de vibração (ES)	metal	principal	corte seco
ES-II			auxiliar	corte seco
ES-I-M	Esmerilhadeiras com redutor de vibração (ES)	metal	principal	corte seco
ES-II-M			auxiliar	corte seco

Fonte: Autoria própria (2022).

Nos corpos de prova foram marcadas 6 divisões de 20 a 30 mm, para orientação do trabalho de corte, sendo que os materiais foram fixados em uma bancada rígida por meio de grampos tipo sargento para garantir a segurança do procedimento e a precisão do corte.


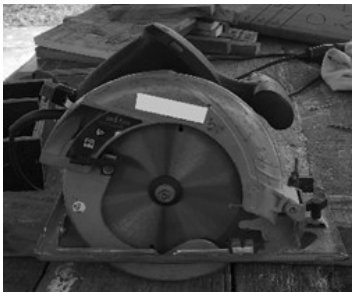
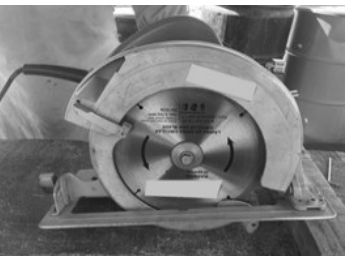
3.1 Materiais

3.1.1 Ferramentas elétricas ensaiadas

Os equipamentos portáteis de corte utilizados foram uma serra circular, uma serra mármore e uma esmerilhadeira

Para os grupos SC-I e SC-II, ensaiou-se três modelos diferentes de serras circulares de duas marcas, disponíveis no local de trabalho, com as características nominais apresentadas no quadro 9.




Quadro 9 – Modelos e características técnicas das Serras Circular ensaiadas

Fab. "A"	Gks 235		Voltagem	V	220
			potência	W	2100
			rotação	rpm	5000
			massa	g	7600
			Diâmetro disco	mm	235
Fab. "A"	GKS 7 1/4"		Voltagem	V	220
			potência	W	1800
			rotação	rpm	5900
			massa	g	5200
			Diâmetro disco	mm	184
Fab. "B"	5902B		Voltagem	V	220
			potência	W	2000
			rotação	rpm	4100
			massa	g	7000
			Diâmetro disco	mm	235

Fonte: Autoria própria (2022).

No quadro 10, apresenta-se as características nominais dos três modelos de serras mármore, de duas marcas, disponíveis no canteiro de obras, que foram ensaiadas.



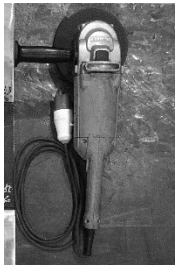
Quadro 10 – Modelos e características técnicas da Serras Mármorens ensaiadas

Fab. "A"	GDC150		voltagem	V	220
			potência	W	1400
			rotação	rpm	12200
			massa	g	2600
			diâmetro disco	mm	125
Fab. "A"	GDC151		voltagem	V	220
			potência	W	1500
			rotação	rpm	12200
			massa	g	2600
			diâmetro disco	mm	125
Fab. "B"	4100NH2		voltagem	V	220
			potência	W	1300
			rotação	rpm	13800
			massa	g	2900
			diâmetro disco	mm	125

Fonte: Autoria própria (2022).

Nos grupos ES-I e ES-II, ensaiou-se aleatoriamente três modelos, de três diferentes marcas de esmerilhadeiras, sem dispositivos anti vibração, disponíveis no canteiro de obra. com características nominais apresentadas no quadro 11.




Quadro 11 – Modelos e características técnicas das Esmerilhadeiras ensaiadas sem dispositivo anti vibração nas empunhadura principal e auxiliar

Fab. "A"	GWS22-180		voltagem	V	220
			potência	W	2200
			rotação	rpm	8500
			massa	g	4900
			diâmetro disco	mm	184
Fab. "B"	GA-9020		voltagem	V	220
			potência	W	2200
			rotação	rpm	6600
			massa	g	5800
			diâmetro disco	mm	180
Fab. "C"	D28491		voltagem	V	220
			potência	W	2200
			rotação	rpm	8500
			massa	g	4900
			diâmetro disco	mm	184

Fonte: Autoria própria (2022).

Nos grupos ES-I-M e ES-II-M, ensaiou-se aleatoriamente três modelos, de três diferentes marcas de esmerilhadeiras, com dispositivos antivibração, disponíveis no canteiro de obras, com características nominais apresentadas no quadro 12.

Quadro 12 – Modelos e características técnicas das Esmerilhadeiras ensaiadas com dispositivo anti vibração nas empunhadura principal e na auxiliar

Fab. "A_M"	GA-7040S		voltagem	V	220
			potência	W	2500
			rotação	rpm	8500
			massa	g	6400
			diâmetro disco	mm	180
Fab. "B_M"	GWS24-180 LVI		voltagem	V	220
			potência	W	2400
			rotação	rpm	8500
			massa	g	6700
			diâmetro disco	mm	184
Fab. "C_M"	DWE4557-B2		voltagem	V	220
			potência	W	2400
			rotação	rpm	8500
			massa	g	5400
			diâmetro disco	mm	184

Fonte: Autoria própria (2022).

3.1.2 Materiais ensaiados

Os corpos de prova ensaiados para os grupos SC-I, SM-I, ES-I, ES-I-M, SC-II, ES-I e ES-II-M foram preparados no formato de placas retangulares, com uma largura de 250 mm para o corte, com a finalidade de estabelecer um padrão para as medidas de corte dos materiais ensaiados.

Para os grupos SC-I e SC-II (madeiras), preparou-se 12 peças de 250 mm com objetivo de realizar 6 cortes transversais com um intervalo de 30 mm entre cada corte para permitir a fixação do material na bancada.

Para o grupo SM-I (rochas naturais), preparou-se 12 peças de 250 mm com objetivo de realizar 6 cortes transversais com um intervalo de 30 mm entre cada corte.

Para os grupos ES-I e ES-II (metais), preparou-se 12 peças de 250 mm com objetivo de realizar 6 cortes transversais com um intervalo de 30 mm entre cada corte.

Para os grupos ES-I-M e ES-II-M (metais), preparou-se 4 peças de 250 mm com objetivo de realizar 6 cortes transversais com um intervalo de 30 mm entre cada corte.

As espessuras dos materiais foram de 25 mm para os grupos SC-I e SC-II, 20 mm para o grupo SM-I e 9,5 mm para os grupos ES-I e ES-II.

Para os grupos SC-I e SC-II selecionou-se a madeira de Pinus (*Pinus elliottii*), Cambará (*Erismia uncinatum Warm*) e Muiracatiara (*Astronium lecointei Ducke*). Para o grupo SM-I, selecionou-se ardósia, arenito e mármore, disponíveis no mercado local. Nos grupos ES-I e ES-II, selecionou-se alumínio, aço carbono e aço inox, nos grupos ES-I-M e ES-II-M, utilizou-se o aço carbono, conforme quadro 13.

Quadro 13 – Grupos e materiais ensaiados

Grupo	Dimensão (mm)	Espessura (mm)	Materiais		
SC-I e SC-II	250 x 410	25,0	pinus	cambará	muiracatiara
SM-I	250 x 350	20,0	ardósia	arenito	mármore
ES-I e ES-II	250 x 250	9,5	alumínio	aço carbono	aço inox
ES-I-M e ES-II-M	250 x 250	9,5	aço carbono		

Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com o IPT (2021), as principais características técnicas dos materiais madeireiros dos grupos SC-I e SC-II são resistência à flexão, resistência à compressão, cisalhamento, dureza janka paralela e fendilhamento, apresentadas no quadro 14.

O pinus apresenta resistência (f_M) a flexão de 48 MPa, resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) de 18,5 Mpa, considerando a madeira verde, isto é, com umidade acima de 15%; cisalhamento de 5,8 MPa, dureza janka paralela de 1932 N e fendilhamento de 0,4.

O cambará apresenta resistência (f_M) à flexão de 72,5 MPa, resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) de 33,7 Mpa, para a madeira com o percentual acima de 15% de umidade (verde); cisalhamento de 7,4 MPa, dureza janka paralela de 3844 N e fendilhamento de 0,5.

A muiracatiara apresenta resistência (f_M) à flexão de 101,6 MPa, resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) de 51,3 Mpa, considerando características da

madeira acima de 15% de umidade (verde); cisalhamento de 23,9 MPa, dureza janka paralela de 7737 N e fendilhamento de 1,2.

Quadro 14 – Características das madeiras ensaiadas

Características	Unidade	Pinus	Cambará	Muiracatiara
Resistência à flexão	MPa	69,6	72,5	101,6
Resistência à compressão	MPa	31,5	42,2	51,3
Cisalhamento	MPa	5,8	7,2	23,9
Dureza janka paralela	N	1932	3844	7737
Fendilhamento	MPa	0,4	0,5	1,2

Fonte: IPT (2021).

Para o grupo SM-I, preparam 18 corpos de prova, sendo 6 de ardósia, 6 de arenito e 6 de mármore. De acordo com Frascá (2014), a ardósia apresenta uma absorção de água de 0,25%, resistência à tração na flexão de 49,6 MPa, não sendo especificada a densidade aparente, a compressão uniaxial e a resistência à flexão.

O arenito apresenta uma densidade aparente superior a 2003 kg/m³, absorção de água de 8%, resistência à compressão uniaxial de 27,6 MPa, resistência à tração na flexão 2,4 MPa e resistência à flexão (MPa) não especificada.

O mármore apresenta uma densidade aparente superior a 2305 kg/m³, absorção de água de 2,5%, resistência à compressão uniaxial de 52 MPa, resistência à tração na flexão 6,9 MPa e resistência à flexão 6,9 (MPa), conforme o quadro 15.

Quadro 15 – Características das rochas ensaiadas

Características	Unidade	Ardósia	Arenito Quartzitos	Mármore travertino
Densidade aparente	kg/m ³	N.E	≥2003	≥2305
Resistência à compressão uniaxial	MPa	N.E	≥27,6	≥52
Resistência à tração na flexão	MPa	≥49,6	≥2,4	≥6,9
Resistência à flexão	MPa	N.E	N.E	≥6,9
Índice de absorção de água	%	≥0,25	≥8	≥2,5

Fonte: Frascá (2014).

Para os grupos ES-I, ES-I-M, ES-II e ES-II-M, preparou-se 18 corpos de prova de 250 mm² com espessura de 9,53 mm, sendo 6 de alumínio ASTM 1100 H14, que tem como característica alta resistência à corrosão, alta condutividade elétrica, alta resistência mecânica e boa usinabilidade; 6 corpos de prova de aço carbono SAE 1020, que tem com propriedade principal uma boa combinação de força e ductilidade; e 6 corpos de prova de aço inox 304L, com uma excelente resistência à corrosão e excelente ductilidade.

O alumínio ASTM 1100 H14 apresenta resistência à tração de 105 MPa, limite de escoamento de 25 MPa, alongamento mínimo de 22% e dureza de 23 HB. O aço carbono 1020 SAE apresenta resistência à tração de 405 MPa, limite de escoamento de 345 MPa, alongamento mínimo de 131% e dureza de 131HB. O aço inox 304L apresenta resistência à tração de 770 MPa, limite de escoamento de 350 MPa, alongamento mínimo de 65% e dureza de 160HB, conforme o quadro 16.

Quadro 16 – Características dos metais ensaiados

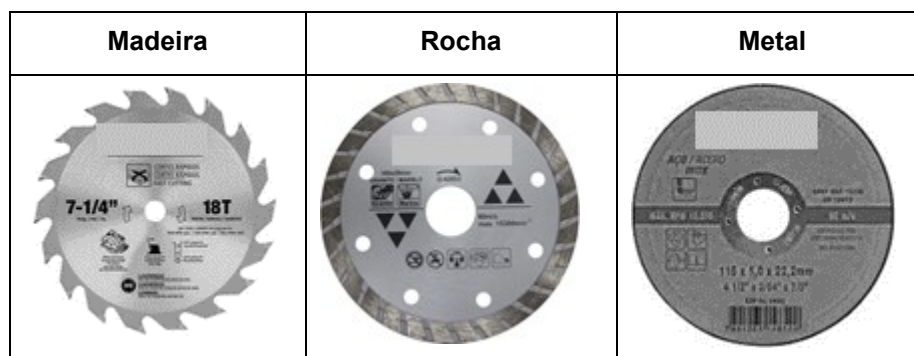
Características	Unidade	Alumínio ASTM 1100 H14	Aço 1020 SAE	Aço Inox 304L
Resistência à tração:	MPa	105	450	770
Limite de escoamento	MPa	25	345	350
Alongamento	%	22	131	65
Dureza	HB	23	131	160

Fonte: Santos (2015).

3.1.3 Disco de corte

De acordo com o material, selecionou-se o tipo de disco de corte. Para os grupos SC-I e SC-II, utilizou-se o disco de 184 mm com 18 dentes de metal duro; para o grupo SM-I, utilizou-se o disco de corte diamantado 105x20 mm modelo D-42553; e para os grupos ES-I, ES-I-M, ES-II e ES-II-M, utilizou-se o disco de corte de 180 mm, conforme o quadro 17.

Quadro 17 – Discos de cortes utilizados nos ensaios



Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com Moreira (2011), os discos das serras para cortar a madeira podem ser fabricadas com disco inteiriço de aço (serras de aço rápido e de fricção), com segmentos de aço rápido rebitados em sua periferia (serra segmentada), com insertos (metal duro ou cermet) brasados nos alojamentos de seus dentes ou ainda segmentos com ligas diamantadas brasados em sua periferia (serra diamantada).

Os discos para o corte das rochas, porcelanatos, cerâmicas e materiais cimentícios, o disco diamantado é o mais usual, que segundo a NBR 15910:2010, é um disco de metal, segmentado ou não, côncavo ou não, com grânulos de diamantes fixados de modo definitivo na sua área de corte (ABNT, 2010).

Os discos para o corte dos metais possuem uma estrutura reforçada com telas de fibra de vidro, com um diâmetro do disco de corte: 180 mm, uma espessura do disco de corte 1,6 mm, diâmetro do furo do disco de corte de 22,23mm (7/8”), grão G 36, rotação máxima do disco de 8500 RPM e atendendo os requisitos da norma ABNT NBR 15230:2016 (ABNT, 2016).

3.1.4 Analisador de vibração e acessórios

Para medir a vibração ocupacional utilizou-se um medidor modelo VIB008 da marca 01dB, que mede simultâneas dos níveis de vibração em 3 eixos, aceleração, pico, pico-pico, fator pico, RMS, A(8), gravação de sinal e a comunicação sem fio Bluetooth . Para captar o sinal físico da vibração, utilizou-se um acelerômetro triaxial modelo AP2042 da marca 01dB, com sensibilidade de ($\pm 5\%$), $0,661 \text{ mV} / \text{ms}^2$, sendo que cada um dos três eixos reage à vibração de modo diferente, ou seja, fornece valores de aceleração individualizados; além disso, possui grande eficiência em campo devido à fácil instalação.

De acordo com a APTechnology International (2012), para medição de VMB há três tipos de adaptadores fornecidos pelo fabricante 01 dB, construídos em alumínio anodizado, com faixa de frequência de até 3000 Hz, com dimensões variadas, massa de até 30 gramas, conforme o quadro 18.

Quadro 18 – Características dos adaptadores para fixação do acelerômetro

Modelo	Un.	AP5022	AP5025	AP5026
Foto	N.A			
Faixa de frequência $\pm 10\%$	Hz	<3.000	<1.500	<2.000
Direções de medição para acelerômetro de eixo único	Posição	x, y, z	x, y, z	y, z
Dimensões	mm	19x19x19	Base 50 x 12	87 x 23
Material	N.A	Alumínio anodizado	Alumínio anodizado	Alumínio anodizado
Massa	g	16	19	30

Fonte: Adaptado de APTechnology International (2012).

Considerando os três modelos disponíveis, descartou-se o modelo AP5026, porque ele mede somente dois eixos (“y” e “z”). Entre os modelos AP5022 e AP5025, escolheu-se o modelo AP5022, porque ele capta uma faixa de frequência até 3.000 Hz.

Para o acoplamento do sensor aos equipamentos de corte, foram utilizados adaptadores fornecidos junto com o medidor de vibração para se obter maior rigidez na fixação e maior área de contato com o equipamento.

3.2 Métodos

3.2.1 Procedimento

Utilizou-se o medidor de vibrações Vib008, que atende às normas ISO 5349, parte 1 e 2, a NHO 10, a Diretiva Europeia 2002/44/EU e os limites da American Conference of Governamental Industrial Hygienists (ACGIH). Os dados foram captados por um acelerômetro triaxial, nos eixos ortogonais “x”, “y” e “z”.

Segundo Welcome *et al.* (2015), a fixação de um acelerômetro na pele geralmente introduz algumas restrições artificiais à estrutura local onde a vibração é

medida, pois a massa do acelerômetro também pode afetar significativamente os resultados da medição; portanto, descartou-se esse arranjo neste experimento, pois a frequência ressonante da montagem massa-pele provavelmente está dentro da faixa de frequência de preocupação para a VMB.

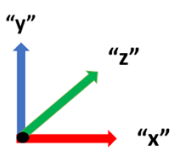
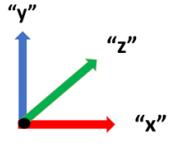
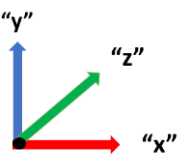
Fixou-se o acelerômetro no adaptador com um parafuso M5 e o conjunto adaptador-acelerômetro às empunhaduras das ferramentas, em 50% das amostras com o uso de abraçadeiras metálicas e nos outros 50% com abraçadeiras de poliamida.

Posicionou-se o acelerômetro na empunhadura o mais próximo possível da ferramenta. Seguindo as recomendações de Mansfield (2005), que afirmou que se deve buscar rigidez adequada ao sistema adaptador-acelerômetro e à abraçadeira, considerando as características dos equipamentos e as peculiaridades do trabalho, fixando-os o mais próximo da mão do trabalhador afetada pela vibração.

De acordo com Cunha (2006), há uma alteração crescente da VMB no sentido do corpo da ferramenta à extremidade da empunhadura.

No quadro 19, apresenta-se a fixação do acelerômetro em relação aos eixos “x”, “y” e “z”. Desse modo, convencionou-se que o eixo “x” está no plano horizontal, o eixo “y” está no plano vertical e o eixo “z” está paralela ao eixo de rotação do disco (eixo da ferramenta), deste modo, considera-se o disco de corte perpendicular ao plano do material, para as serras circulares, esmerilhadeiras e serras mármores.

Quadro 19 – Fixação do acelerômetro nas ferramentas – eixos “x”, “y” e “z”

Equipamentos	Posições dos eixos
Serra Circular	
Serra Mármore	
Esmerilhadeira	

Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com Welcome *et al.* (2015), é muito difícil corrigir e determinar a orientação do acelerômetro em cada local de medição, porque a superfície de contato deformável pode variar com a força aplicada e distribuição de pressão.

O medidor de vibração armazena os dados de tempo, aceleração ponderada, aceleração total e espectro de 1 Hz a 2000 Hz. Considerou-se esses valores para um tempo de exposição de “ $T_e = 480$ minutos ou 8 horas”, correspondendo a valores de exposição de um período de referência igual a oito horas A (8).

3.2.2 Metodologia para tratamento e análise dos dados estatísticos

Processou-se a análise estatística descritiva dos dados com o *software* estatístico IBM® SPSS *Statistics*, versão 22.0, considerando-se um nível de Significância de 5% ($\alpha=0,05$).

Na análise estatística utilizou-se técnicas descritivas (mediana, variância, desvio-padrão e erro-padrão) para analisar as variáveis como aceleração ponderada, aceleração total A_t e o tempo para o aparecimento da síndrome dos dedos brancos. Aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk, nas amostras, com um nível de confiança de $p < 0,05$, para verificar se os dados apresentam uma distribuição normal ou não.

Ao analisar os resultados do teste de Shapiro-Wilk, classificou-se os dados como não paramétricos. Devido a isso, para a análise inferencial utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis para amostras independentes da aceleração ponderada nos eixos “x”, “y” e “z” e aceleração total, pois, este teste não exige as suposições de normalidade da variável, nem homogeneidade de variâncias entre os tratamentos; portanto, caracteriza-se como teste livre de distribuição, ou seja, a distribuição teórica populacional dos dados não precisa ser estimada pelas médias ou variâncias amostrais para sua correta aplicação (SIEGEL; CASTELLAN JR., 1988; ZAR, 2009).

Utilizou-se o teste U de Mann-Whitney de amostras independentes para avaliação da fixação do acelerômetro com a abraçadeira poliamida e a abraçadeira metálica. De acordo com Landers apud Nachar (2008), o teste Mann-Whitney U também é um dos mais poderosos testes não paramétricos, cujo poder estatístico corresponde à probabilidade de rejeitar uma hipótese nula e falsa.

Comparado com o teste t, o Mann-Whitney U corre menos risco de dar um resultado incorretamente significativo quando há presença de um ou dois valores extremos na amostra sob investigação (SIEGEL; CASTELLAN JR., 1988).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises e discutidos os resultados dos ensaios de VMB realizados, durante a tarefa de corte de diversos tipos de materiais como madeiras, rochas naturais ornamentais e metais.

Para a execução das tarefas de corte dos materiais, há três recursos fundamentais: o primeiro é o material a ser cortado; o segundo é a ferramenta adequada; e o terceiro é o recurso humano, ou seja, o profissional treinado e habilitado para executar a tarefa.

No item 4.1, comparou-se os resultados de VMB apresentado pelo tipo de material, ou seja, para os grupos dos materiais madeireiros SC-I e SC-II, as madeiras de pinus, cambará e muiracatiara para os materiais rochosos, no grupo SM-I as rochas de ardósia, arenito e mármore; e para os grupos ES-I, ES-II, ES-I-M e ES-II-M os metais de aço carbono 1020, o aço inox 304 e alumínio 1100, com a finalidade de verificar diferenças da VMB de acordo com o tipo de material.

No item 4.2, comparou-se os resultados estratificados de acordo os fabricantes das ferramentas elétricas. com a finalidade de verificar diferenças da VMB de acordo com a marca do fabricante da ferramenta.

No item 4.3, demonstrou -se os resultados do cálculo do tempo para que 10% dos profissionais desenvolvessem a SVMB; para os operadores das serras circulares, serras mármores e esmerilhadeiras, demonstrou-se os resultados pela marca dos fabricantes das ferramentas elétricas, com objetivo de verificar diferenças de acordo com cada fabricante.

No item 4.4, comparou-se os resultados da fixação do adaptador com abraçadeiras de poliamida e as abraçadeiras metálicas, com a finalidade de verificar diferenças da VMB conforme o material e o tipo da abraçadeira que fixa o adaptador do acelerômetro.

4.1 Resultados da VMB no corte dos materiais de construção

Neste item 4.1, apresentou-se uma análise estatística dos dados de VMB com foco nos materiais cortados. Utilizou-se os testes estatísticos de Kruskal-Wallis e de teste U de Mann-Whitney para verificar se existem diferenças significativas na VMB quando se corta materiais diferentes. Portanto, analisou-se os dados de aceleração ponderada nos eixos “x” (a_{whx}), “y” (a_{why}) e “z” (a_{whz}) com a fixação do acelerômetro nos punhos principal e auxiliar, e calculou-se a aceleração total A_t , para uma jornada de oito horas, considerando os diferentes tipos de materiais dos grupo SC-I e SC-II, do grupo SM-I, e dos grupos ES-I, ES-II, ES-I-M e ES-II-M.

4.1.1 Resultados da VMB no corte dos materiais madeireiros

No quadro 20, apresentou-se o tamanho da amostra para o grupo SC-I, considerando os materiais cortados, dados de VMB no punho principal (P.P), utilizando-se as serras circulares portáteis elétricas, agrupando e avaliando os dados com foco nos materiais cortados, de acordo com as diferentes espécies de madeiras, sendo 33 dados de VMB, 11 dados do corte de pinus, 11 dados do corte do cambará e 11 dados do corte de muiracatiara.

Quadro 20 – Tamanho das amostras do grupo SC-I: foco nos materiais

Grupo	Materiais	Casos
SC-I	Pinus	11
	Cambará	11
	Muiracatiara	11
	Total	33

Fonte: Aatoria própria (2022).

Os resultados da aceleração ponderada no eixo “x” foram de $1,67 \text{ m/s}^2$, com um desvio padrão de $0,58 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,17 \text{ m/s}^2$ para o corte do pinus. No corte do cambará, de $1,77 \text{ m/s}^2$, com o desvio padrão de $0,86 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,24 \text{ m/s}^2$. No corte da muiracatiara, de $1,72 \text{ m/s}^2$, com o desvio padrão de $0,80 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,24 \text{ m/s}^2$.

No eixo “y”, os resultados apontam para uma aceleração ponderada de $1,27 \text{ m/s}^2$ no corte do pinus, com desvio padrão de $0,36 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,11 \text{ m/s}^2$. No corte do cambará, a aceleração ponderada foi de $1,67 \text{ m/s}^2$, o desvio padrão de $0,44 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,13 \text{ m/s}^2$. No corte da muiracatiara, a aceleração

ponderada foi de $1,80 \text{ m/s}^2$, com um desvio padrão de $0,42 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,12 \text{ m/s}^2$.

No corte do pinus, estimou-se a aceleração ponderada no eixo “z” de $0,76 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,14 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,04 \text{ m/s}^2$. No corte do cambará, a aceleração ponderada foi de $0,86 \text{ m/s}^2$ no eixo “z”, o desvio padrão de $0,17 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,05 \text{ m/s}^2$. No corte da muiracatiara, a aceleração ponderada foi de $0,90 \text{ m/s}^2$, o desvio padrão de $0,21 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,06 \text{ m/s}^2$.

A aceleração total calculada para o corte do pinus apresentou uma mediana de $0,76 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,14 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,04 \text{ m/s}^2$. No corte do cambará, a aceleração ponderada calculada foi de $0,86 \text{ m/s}^2$, o desvio padrão de $0,17 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,05 \text{ m/s}^2$. No corte da muiracatiara, a aceleração ponderada calculada foi de $0,90 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,21 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,06 \text{ m/s}^2$, conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Resultados de VMB do grupo SC-II: foco nos materiais madeireiros

Materiais	“x” $a_{whx} \text{ (m/s}^2\text{)}$	“y” $a_{why} \text{ (m/s}^2\text{)}$	“z” $a_{whz} \text{ (m/s}^2\text{)}$	$A_t \text{ (m/s}^2\text{)}$
Pinus	$1,67 \pm 0,58$	$1,27 \pm 0,36$	$0,76 \pm 0,14$	$2,20 \pm 0,56$
Cambará	$1,77 \pm 0,86$	$1,67 \pm 0,44$	$0,86 \pm 0,17$	$2,52 \pm 0,62$
Muiracatiara	$1,72 \pm 0,80$	$1,79 \pm 0,42$	$0,90 \pm 0,21$	$2,63 \pm 0,51$

Fonte: Autoria própria (2022).

Analisando a tabela 1, visualmente constatou-se que a aceleração ponderada nos eixos “x”, “y” e “z” e a A_t pode apresentar valores semelhantes e equivalentes, de modo que o tipo de madeira cortada não influenciou nos resultados de VMB.

Na tabela 2, apresentou-se os resultados do teste de Kruskal-Wallis. Na aceleração ponderada no eixo “x”, encontrou-se um $p=0,80$; no eixo “y”, um $p=0,22$; no eixo “z” um $p=0,25$. Na aceleração total, encontrou-se um $p=0,25$.

Tabela 2 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis do grupo SC-I: foco nos materiais madeireiros

Variáveis	Valor-p	Considerações
a_{whx}	0,80	Reteve-se a hipótese nula
a_{why}	0,18	Reteve-se a hipótese nula
a_{whz}	0,22	Reteve-se a hipótese nula
A_t	0,25	Reteve-se a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados indicaram-se a retenção da hipótese nula para as variáveis do grupo SC-I, ou seja, os dados não evidenciaram que houve, em pelo menos uma das madeiras cortadas, diferenças nas distribuições das variáveis da aceleração ponderada nos eixos “x”, “y” e “z” e a A_t .

Para confirmar os resultados do teste de Kruskal-Wallis, utilizou-se o teste U de Mann-Whitney; para tanto, combinou-se os materiais madeireiros dois a dois: pinus e cambará; pinus e muiracatiara; cambará e muiracatiara.

Na tabela 3, no par do pinus e do cambará calculou o valor $p=0,65$ no eixo “x”, um valor de $p=0,06$ no eixo “y”, um valor de $p=0,07$ no eixo “z” e um valor de $p=0,15$ na A_t . No par do pinus e da muiracatiara, o valor de $p=0,65$ no eixo “x”, um valor de $p=0,22$ no eixo “y”, um valor de $p=0,27$ no eixo “z” e um valor de $p=0,22$ na A_t . No par do cambará e a muiracatiara, o valor de o valor de $p=0,65$ no eixo “x”, um valor de $p=0,79$ no eixo “y”, um valor de $p=0,95$ no eixo “z” e um valor de $p=0,65$ na A_t .

Tabela 3 – Resultados do teste U de Mann-Whitney do grupo SC-I: foco nos materiais madeireiros

Grupos	Valor-p no eixo “x” a_{whx}	Valor-p no eixo “y” a_{why}	Valor-p no eixo “z” a_{whz}	A_t	Consideração
Pinus e Cambará	0,65	0,06	0,07	0,15	Reteve-se a hipótese nula
Pinus e Muiracatiara	0,65	0,22	0,27	0,22	Reteve-se a hipótese nula
Cambará e Muiracatiara	0,65	0,79	0,95	0,65	Reteve-se a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados não demonstraram diferenças significativas entre os tipos de madeira na distribuição das variáveis de VMB. Desse modo, os resultados do teste de Kruskal-Wallis e do teste U de Mann-Whitney indicam que os tipos de madeiras ensaiadas não foi fator determinante para a variação da VMB no grupo SC-I. Nesse caso, as serras circulares atenderam o serviço de corte das madeiras, apresentando uma diferença no valor-p, que pode ser relacionado com as características de resistência mecânica.

Continuando avaliação da VMB do corte dos materiais madeireiros, no quadro 21 apresentou-se o tamanho da amostra para o grupo SC-II, considerando os materiais ensaiados, dados de VMB no punho auxiliar, utilizando-se as serras circulares portáteis elétricas, agrupando e avaliando os dados com foco nos materiais

ensaiados, de acordo com as diferentes espécies de madeiras, sendo 33 dados no total, divididos em 11 dados do corte de pinus, 11 dados do corte do cambará e 11 dados do corte de Muiracatiara.

Quadro 21 – Tamanho das amostras do grupo SC-II: foco nos materiais

Grupo	Materiais	Casos
SC-I	Pinus	11
	Cambará	11
	Muiracatiara	11
	Total	33

Fonte: Autoria própria (2022).

No eixo “x”, o resultado da aceleração ponderada no corte dos materiais madeireiros, com fixação do acelerômetro no punho auxiliar, apresentou uma mediana de $1,68 \text{ m/s}^2$, com um desvio padrão de $0,41 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,12 \text{ m/s}^2$ para o corte do pinus. No corte do cambará, uma mediana de $1,86 \text{ m/s}^2$, com o desvio padrão de $0,37 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,11 \text{ m/s}^2$. No corte da muiracatiara, mediana de $1,67 \text{ m/s}^2$, com o desvio padrão de $0,74 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,22 \text{ m/s}^2$.

No eixo “y”, os resultados apontam para uma aceleração ponderada de $1,28 \text{ m/s}^2$ no corte do pinus, com desvio padrão de $0,15 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,04 \text{ m/s}^2$. No corte do cambará, a aceleração ponderada foi de $1,52 \text{ m/s}^2$, o desvio padrão de $0,24 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,07 \text{ m/s}^2$. No corte da muiracatiara, a aceleração ponderada foi de $1,54 \text{ m/s}^2$, com um desvio padrão de $0,31 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,09 \text{ m/s}^2$.

No eixo “z”, a aceleração ponderada foi de $0,53 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,15 \text{ m/s}^2$ no corte do pinus e erro padrão de $0,05 \text{ m/s}^2$. No corte do cambará, a aceleração ponderada foi de $0,78 \text{ m/s}^2$, desvio padrão de $0,27 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,08 \text{ m/s}^2$. No corte da muiracatiara, a aceleração ponderada foi de $0,97 \text{ m/s}^2$, o desvio padrão de $0,28 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,08 \text{ m/s}^2$.

A aceleração total no corte do pinus foi de $2,22 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,34 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,10 \text{ m/s}^2$. No corte do cambará, a aceleração total foi de $2,72 \text{ m/s}^2$, o desvio padrão de $0,34 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,10 \text{ m/s}^2$. No corte da muiracatiara, a aceleração ponderada foi de $2,36 \text{ m/s}^2$, o desvio padrão de $0,76 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão de $0,22 \text{ m/s}^2$, conforme a tabela 4.

Tabela 4 – Resultados de VMB do grupo SC-II: foco nos materiais

Materiais	“x” a_{whx} m/s²	“y” a_{why} m/s²	“z” a_{whz} m/s²	A_t m/s²
Pinus	1,68 ± 0,41	1,28 ± 0,15	0,78 ± 0,14	2,22 ± 0,34
Cambará	1,86 ± 0,37	1,52 ± 0,24	0,78 ± 0,27	2,72 ± 0,34
Muiracatiara	1,67 ± 0,74	1,54 ± 0,31	0,97 ± 0,28'	2,36 ± 0,76

Fonte: Autoria própria (2022).

Visualizando a tabela 4, observa-se que a VMB: aceleração ponderada nos eixos “x” a_{wx} , “y” a_{wy} , “z” a_{wz} e a aceleração total A_t podem ser equivalentes.

Para verificar se os resultados estatísticos indicaram uma rejeição da hipótese nula, utilizou-se o teste Kruskal-Wallis, que testa a hipótese de que três ou mais populações têm distribuição igual ou não. Desse modo, considerou os diferentes grupos de materiais madeireiros – o pinus, o cambará e a muiracatiara – e as variáveis de aceleração ponderada nos eixos “x”, “y” e “z” e a A_t .

No teste de Kruskal-Wallis das amostras independentes encontrou-se um $p=0,21$ para a aceleração ponderada no “x”, um $p=0,08$ no eixo “y”, um $p=0,16$ no eixo “z” e um $p=0,06$ na A_t ; os dados indicaram hipótese nula, ou seja, os dados não demonstram evidência que há pelo menos um tipo diferente de madeira estudado, conforme a tabela 5.

Tabela 5 – Resultados teste de Kruskal-Wallis do grupo SC-II: foco nos materiais

Variáveis	Valor-p	Considerações
a_{whx}	0,21	Reteve-se a hipótese nula
a_{why}	0,08	Reteve-se a hipótese nula
a_{whz}	0,16	Reteve-se a hipótese nula
A_t	0,06	Reteve-se a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

Para confirmar os resultados do teste de Kruskal-Wallis das amostras independentes, aplicou-se o teste U de Mann-Whitney, combinando os materiais dois a dois: pinus e cambará; pinus e muiracatiara; cambará e muiracatiara.

Para o par do pinus e do cambará, o valor foi $p=0,08$ no eixo “x”, $p=0,08$ no eixo “y”, $p=0,06$ no eixo “z” e $p=0,02$ na A_t .

No par do pinus e da muiracatiara o valor foi $p=0,52$ no eixo “x”, $p=0,05$ no eixo “y”, $p=0,22$ no eixo “z” e $p=0,02$ na A_t .

No par do cambará e a muiracatiara, o valor foi $p=0,36$ no eixo “x”, $p=0,70$ no eixo “y”, $p=0,74$ no eixo “z” e $p=0,47$ na A_t . Os dados não demonstraram evidência de que há um grupo diferente estudado, conforme a tabela 6.

Tabela 6 – Resultados do Teste U de Mann-Whitney do grupo SC-II: foco nos materiais

Pares	Valor-p no eixo “x” a_{whx}	Valor-p no eixo “y” a_{why}	Valor-p no eixo “z” a_{whz}	Valor-p A_t	Considerações
Pinus e Cambará	0,08	0,08	0,06	0,02	Rejeitam a hipótese nula na variável A_t , e reteve-se a hipótese nula para as variáveis a_{wx} , a_{wy} e a_{wz}
Pinus e Muiracatiara	0,52	0,05	0,22	0,17	Rejeitam a hipótese nula na variável a_{wy} , e reteve-se a hipótese nula para as variáveis a_{wx} , a_{wz} e A_t
Cambará e Muiracatiara	0,36	0,70	0,74	0,47	Reteve-se a hipótese nula em todas as variáveis

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados demonstraram uma sutil diferença do pinus com o cambará, rejeitando-se a hipótese nula para a variável A_t , com uma fraca retenção para as demais variáveis. No caso do pinus e da muiracatiara, rejeitou-se a aceleração ponderada no eixo “y” e aceitou-se para as demais variáveis. Nesse caso, ao avaliar a diferença do valor-p, pode ser relacionado a diferença com as características de resistência mecânica, com aos valores de VMB.

Desta forma, há indícios de que os resultados de VMB podem variar conforme os tipos de madeiras, ou seja, com suas características mecânicas.

4.1.2 Resultados da VMB no corte dos materiais rochosos

No quadro 22, apresentou-se o tamanho da amostra para o grupo SM-I, considerando os materiais ensaiados, dados de VMB no punho principal, utilizando-se as serras mármores portáteis elétricas, agrupando e avaliando os dados com foco nos materiais ensaiados, de acordo com os diferentes tipos de rochas cortadas, sendo, 45 dados no total, divididos em 15 dados do corte da ardósia, 15 dados do corte do arenito e 15 dados do corte de Mármore.

Quadro 22 – Tamanho das amostras do grupo SM-I: foco nos materiais

Grupo	Materiais	Casos
SM-I	Ardósia	15
	Arenito	15
	Mármore	15
	Total	45

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados da aceleração ponderada no eixo “x” nos ensaios apontam que, ao cortar a ardósia, a mediana foi de 2,35 m/s² de aceleração ponderada, o desvio padrão de 0,53 m/s² e o erro padrão de 0,14 m/s². No corte do arenito, a aceleração ponderada foi de 1,4 m/s², o desvio padrão de 0,37 m/s² e o erro padrão de 0,09 m/s². Os resultados de aceleração ponderada no corte do mármore foram de 2,27 m/s², o desvio padrão de 0,56 m/s² e erro padrão de 0,14 m/s².

Os resultados do corte no eixo “y” nos ensaios apontam que, ao cortar a ardósia, a mediana foi de 2,8 m/s² de aceleração ponderada, o desvio padrão de 0,64 m/s² e o erro padrão de 0,16 m/s². No corte do arenito, a aceleração ponderada foi 1,78 m/s², o desvio padrão de 0,37 m/s² e o erro padrão de 0,09 m/s². Os resultados de aceleração ponderada no corte do mármore foram de 2,89 m/s², o desvio padrão de 0,52 m/s² e erro padrão de 0,14 m/s².

Os resultados do corte no eixo “z” apontam que, ao cortar a ardósia, a aceleração ponderada foi de 1,25 m/s², com um desvio padrão de 0,43 m/s² e o erro padrão de 0,07 m/s². No corte do arenito, a aceleração ponderada foi de 0,84 m/s², com desvio padrão de 0,29 m/s² e erro padrão de 0,07 m/s².

No corte da ardósia, calculou-se uma aceleração total de 3,81 m/s², com desvio padrão de 0,90 m/s² e erro padrão de 0,04 m/s². No corte do arenito, a aceleração ponderada foi de 2,41 m/s², com desvio padrão de 0,52 m/s² e erro padrão de 0,05 m/s². No corte do mármore, a aceleração foi total de 3,72 m/s², com desvio padrão de 0,84 m/s² e erro padrão de 0,06 m/s², conforme a tabela 7.

Tabela 7 – Resultados de VMB do grupo SM-I: foco nos materiais ensaiados

Materiais	“x” a _{whx} (m/s ²)	“y” a _{why} (m/s ²)	“z” a _{whz} (m/s ²)	A _t (m/s ²)
Ardósia	2,35 ± 0,53	2,80 ± 0,63	1,25 ± 0,43	3,81 ± 0,90
Arenito	1,40 ± 0,37	1,78 ± 0,38	0,84 ± 0,29	2,41 ± 0,52
Mármore	2,27 ± 0,52	2,89 ± 0,52	1,36 ± 0,42	3,72 ± 0,84

Fonte: Autoria própria (2022).

Para verificar se os resultados estatísticos indicaram uma rejeição da hipótese nula, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes para o grupo SM-I. Os resultados apontam que, no eixo “x” um valor-foi de $p=0,00$; no eixo “y” o valor- p , $p=0,00$; no eixo “z” o valor- p foi de $0,02$ e na A_t o valor- p de $0,00$, para um nível de significância de 5% . Desse modo, para os materiais rochosos, rejeitou-se a hipótese nula.

Tabela 8 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis do grupo SM-I: foco nos materiais

Variáveis	Valor-p	Considerações
a_{whx}	0,00	Rejeita a hipótese nula
a_{why}	0,00	Rejeita a hipótese nula
a_{whz}	0,02	Rejeita a hipótese nula
A_t	0,00	Rejeita a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

Para confirmar os resultados da VMB do punho auxiliar do teste de Kruskal-Wallis, aplicou-se o teste U de Mann-Whitney, combinando-se os materiais dois a dois: ardósia e arenito; ardósia e mármore; arenito e mármore.

Para o par ardósia e arenito, o valor foi $p=0,00$ no eixo “x”; $p=0,00$ no eixo “y”; $p=0,02$ no eixo “z”; e $p=0,00$ na A_t .

No par ardósia e mármore, o valor foi $p=0,51$ no eixo “x”; $p=0,74$ no eixo “y”; $p=0,84$ no eixo “z”; e $p=0,51$ na A_t .

No par arenito e mármore, o valor foi $p=0,00$ no eixo “x”; $p=0,00$ no eixo “y”; $p=0,01$ no eixo “z”; e $p=0,00$ na A_t , conforme a tabela 9.

Tabela 9 – Resultado do teste U de Mann-Whitney do grupo SM-I: foco nos materiais

Pares	Valor-p no eixo “x” a_{whx}	Valor-p no eixo “y” a_{why}	Valor-p no eixo “z” a_{whz}	Valor-p A_t	Consideração
Ardósia e arenito	0,00	0,00	0,02	0,00	Rejeita a hipótese nula em todas as variáveis
Ardósia e mármore	0,51	0,74	0,84	0,51	Rejeita a hipótese nula em todas as variáveis
Arenito e mármore	0,00	0,00	0,01	0,00	Rejeita a hipótese nula em todas as variáveis

Fonte: Autoria própria (2022).

Nesse caso, ao avaliar a diferença do valor-p, pode ser relacionado a diferença com as características de resistência mecânica das rochas ornamentais, com aos valores de VMB.

Desta forma, há indícios de que os resultados de VMB podem variar conforme os tipos de rochas ornamentais, ou seja, com suas características mecânicas, principalmente entre a ardósia e mármore como arenito.

Portanto, considerando os dados de VMB do grupo SM-I e as características das rochas ensaiadas como a resistência à tração na flexão, evidenciada no quadro 14, constatou-se uma diferença do arenito com a ardósia e do arenito com o mármore, que pode estar relacionada às propriedades mecânicas dos materiais.

4.1.3 Resultados da VMB no corte dos materiais metálicos

No quadro 23, apresentou-se o tamanho da amostra para o grupo ES-I, considerando os materiais ensaiados, dados de VMB no punho principal, utilizando-se as esmerilhadeiras portáteis elétricas, agrupando e avaliando os dados com foco nos materiais ensaiados, de acordo com os diferentes tipos de metais ensaiados, sendo 72 dados no total, divididos em 24 dados do corte do aço inox, 24 dados do corte do aço carbono, 24 dados do corte do alumínio.

Quadro 23 – Tamanho das amostras do grupo ES-I: foco nos materiais

Grupo	Materiais	Casos
ES-I	Aço inox 304	24
	Aço carbono1020	24
	Alumínio 1100	24
	Total	72

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados da aceleração ponderada no eixo “x” nos ensaios apontam que, ao cortar o aço inox 304, a mediana foi 3,25 m/s² da aceleração ponderada, o desvio padrão 0,65 m/s² e o erro padrão 0,14 m/s². No corte do aço carbono 1020 SAE, a aceleração ponderada foi 2,91 m/s², o desvio padrão 0,87 m/s² e o erro padrão 0,18 m/s². Os resultados de aceleração ponderada no corte do alumínio indicam uma mediana de 3,25 m/s², com um desvio padrão de 0,67 m/s² e erro padrão de 0,14 m/s².

Os resultados do corte no eixo “y” para o aço inox 304 apresentou aceleração ponderada de $10,63 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,89 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,40 \text{ m/s}^2$. No corte do aço carbono 1020 SAE, aceleração ponderada de $10,97 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,5 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,32 \text{ m/s}^2$. No eixo “y” para o corte do alumínio, a aceleração ponderada foi $10,0 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $2,29 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,48 \text{ m/s}^2$.

No corte do aço inox 304, registrou-se uma aceleração ponderada no eixo “z” de $3,4 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,72 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,15 \text{ m/s}^2$. No corte do aço carbono 1020, a aceleração ponderada foi de $3,07 \text{ m/s}^2$ no eixo “z”, com desvio padrão de $0,43 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,09 \text{ m/s}^2$. No corte do alumínio, foi de $2,88 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,71 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,15 \text{ m/s}^2$.

Os resultados de aceleração total no corte do aço inox foi de $11,76 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,62 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,35 \text{ m/s}^2$. No corte do aço carbono, foi de $11,97 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,44 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,30 \text{ m/s}^2$. No corte do alumínio, foi de $10,71 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $2,18 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,46 \text{ m/s}^2$, conforme a tabela 10.

Tabela 10 – Resultado de VMB do grupo ES-I: foco nos materiais

Materiais	“x” $a_{whx} \text{ (m/s}^2\text{)}$	“y” $a_{why} \text{ (m/s}^2\text{)}$	“z” $a_{whz} \text{ (m/s}^2\text{)}$	$A_t \text{ (m/s}^2\text{)}$
Aço inox 304	$3,25 \pm 0,65$	$10,63 \pm 1,89$	$3,40 \pm 0,52$	$11,76 \pm 1,65$
Aço carbono1020	$2,95 \pm 0,87$	$10,97 \pm 1,52$	$3,07 \pm 0,42$	$11,97 \pm 1,43$
Alumínio 1100	$3,25 \pm 0,66$	$10,00 \pm 2,29$	$2,88 \pm 0,71$	$10,71 \pm 2,18$

Fonte: Autoria própria (2022).

Visualmente, observou-se valores de VMB muito próximos dos três tipos de materiais metálicos. Para verificar essa igualdade, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis das amostras independentes. Os resultados do teste indicam que, para o grupo ES-I, encontrou-se $p=0,56$ para a aceleração ponderada no “x”, $p=0,78$ no eixo “y”, $p=0,11$ no eixo “z” e $p=0,77$ na A_t . Dessa forma, reteve-se a hipótese nula, ou seja, os dados não demonstram evidência que há pelo menos um tipo diferente de metal estudado, conforme a tabela 11.

Tabela 11 – Resultado do teste de Kruskal-Wallis do grupo ES-I: foco nos materiais

Variáveis	Valor-p	Decisão
a_{whx}	0,56	Reteve-se a hipótese nula
a_{why}	0,78	Reteve-se a hipótese nula
a_{whz}	0,11	Reteve-se a hipótese nula
A_t	0,77	Reteve-se a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

A tarefa de cortar os materiais metálicos apresentou a mesma distribuição da aceleração ponderada nos eixos “x”, “y” e “z”, portanto não há diferença entre o aço carbono, o aço inox e o alumínio, que altere os resultados em relação aos ensaios de VMB.

Para confirmar os resultados do teste de Kruskal-Wallis, aplicou-se o teste U de Mann-Whitney, combinou-se os materiais dois a dois: aço inox e aço carbono; aço inox e alumínio e aço inox e alumínio.

Para o par aço inox e aço carbono, calculou-se um valor de $p=0,52$ no eixo “x”, um valor de $p=0,60$ no eixo “y”, um valor de $p=0,26$ no eixo “z” e um valor de $p=0,60$ para A_t .

No par aço inox e alumínio, o valor foi de $p=0,64$ no eixo “x”, $p=0,99$ no eixo “y”, $p=0,07$ no eixo “z” e $p=0,87$ para A_t .

No par aço carbono e alumínio, o valor foi $p=0,30$ no eixo “x”, $p=0,50$ no eixo “y”, $p=0,14$ no eixo “z” e $p=0,50$ para A_t , conforme a tabela 12.

Tabela 12 – Resultado do teste U de Mann-Whitney do grupo ES-I: foco nos materiais

Pares	Valor-p no eixo “x”	Valor-p no eixo “y”	Valor-p no eixo “z”	A_t	Consideração
	a_{whx}	a_{why}	a_{whz}		
Aço Inox e Aço carbono	0,52	0,60	0,26	0,60	Reteve-se a hipótese nula em todas as variáveis
Aço Inox e Alumínio	0,64	0,99	0,07	0,87	Reteve-se a hipótese nula em todas as variáveis
Aço carbono e Alumínio	0,30	0,50	0,14	0,50	Reteve-se a hipótese nula em todas as variáveis

Fonte: Autoria própria (2022).

Para o grupo ES-I, não se verificou diferenças do valor-p, deste modo, as características de resistência mecânica dos metais são irrelevantes, com aos valores

de VMB, pois, os valores de vibração foram muito altos, o que pode ter comprometido a amostra.

Desse modo, baseados nas evidências dos resultados apresentados, os ensaios de corte de materiais metálicos.

No grupo ES-II, dos materiais metálicos, analisou-se 66 ensaios, 22 casos do corte do aço inox, 22 do corte do aço carbono e 22 do corte do alumínio, conforme o quadro 24.

Quadro 24 – Tamanho das amostras do grupo ES-II: foco nos materiais

Grupo	Materiais	Casos
ES-II	Aço inox 304	22
	Aço carbono 1020	22
	Alumínio 1100	22
	Total	66

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados da aceleração ponderada no eixo “x” nos ensaios apontam que, ao cortar o aço inox 304, foram de $3,73 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,01 \text{ m/s}^2$ e o com erro padrão de $0,21 \text{ m/s}^2$. Nos cortes do aço carbono 1020 SAE, foram de $4,32 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,73 \text{ m/s}^2$ e com erro padrão de $0,16 \text{ m/s}^2$. Nos cortes do alumínio foram de $3,64 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,96 \text{ m/s}^2$ e com erro padrão de $0,20 \text{ m/s}^2$.

No eixo “y”, para os cortes do aço inox 304, calculou-se uma aceleração ponderada de $4,3 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,31 \text{ m/s}^2$ e com erro padrão de $0,28 \text{ m/s}^2$. No corte do aço carbono 1020 SAE, o valor foi de $4,23 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,19 \text{ m/s}^2$ e com erro padrão de $0,25 \text{ m/s}^2$. No corte do alumínio, foi de $4,13 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,1 \text{ m/s}^2$ e com erro padrão de $0,23 \text{ m/s}^2$.

Nos cortes do aço inox 304, a aceleração ponderada no eixo “z” apresentou mediana de $4,17 \text{ m/s}^2$, desvio padrão de $0,79 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,17 \text{ m/s}^2$. Nos cortes do aço carbono 1020, foi de $4,35 \text{ m/s}^2$, desvio padrão de $0,67 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,14 \text{ m/s}^2$. No corte do alumínio, o valor ficou em $3,67 \text{ m/s}^2$, o desvio padrão em $1,13 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão em $0,24 \text{ m/s}^2$.

Os resultados de aceleração total nos cortes do aço inox foram de $7,54 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,89 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,19 \text{ m/s}^2$. Nos cortes do aço carbono, foram de $7,87 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,91 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,19$

m/s². No corte do alumínio, foram de 7,09 m/s², com desvio padrão de 0,96 m/s² e erro padrão de 0,21 m/s², conforme a tabela 13.

Tabela 13 – Resultado de VMB do grupo ES-II: foco nos materiais

Materiais	“x” a_{whx} (m/s²)	“y” a_{why} (m/s²)	“z” a_{whz}(m/s²)	A_t (m/s²)
Aço inox 304	3,37 ± 1,01	4,30 ± 1,31	4,17 ± 0,79	7,54 ± 0,89
Aço carbono1020	4,32 ± 0,73	4,23 ± 1,19	4,35 ± 0,67	7,87 ± 0,94
Alumínio 1100	3,64 ± 0,96	4,13 ± 1,09	3,67 ± 1,13	7,09 ± 0,96

Fonte: Autoria própria (2022).

Na tabela 14, apresenta-se o teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes; no eixo “x” o valor foi p=0,05, no eixo “y” o valor foi p=0,56; no eixo “z” o valor foi p=0,54, e a aceleração total foi p=0,10, para um nível de significância do valor-p de 5%, reteve-se H₀.

Tabela 14 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis do grupo ES-II

Variáveis	Valor-p	Considerações
a_{whx}	0,05	Reteve-se a hipótese nula
a_{why}	0,56	Reteve-se a hipótese nula
a_{whz}	0,54	Reteve-se a hipótese nula
A_t	0,10	Reteve-se a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

A tarefa de cortar os materiais metálicos ensaiados apresentou um risco semelhante à saúde dos trabalhadores; ao analisar os eixos de modo independente, verifica-se uma prevalência no eixo “y”.

Analisou-se o corte dos três tipos de materiais e verificou-se que o corte dos metais apresentou um maior nível de aceleração ponderada no punho auxiliar.

Para confirmar os resultados da VMB do punho auxiliar do teste de Kruskal-Wallis aplicou-se o teste U de Mann-Whitney, combinou-se os materiais dois a dois: aço inox e aço carbono; aço inox e alumínio; e aço carbono e alumínio.

Para o par aço inox e aço carbono, o valor foi p=0,04 no eixo “x”, rejeitando a hipótese nula, p=0,75 no eixo “y”, p=0,70 no eixo “z” e p=0,40 na A_t.

No par aço inox e alumínio, o valor de p = 0,93 no eixo “x”, p=0,24 no eixo “y”, p=0,40 no eixo “z” e p=0,15 na A_t.

No par aço carbono e alumínio, o valor foi $p=0,04$ no eixo “x”, rejeitando a hipótese nula, $p=0,59$ no eixo “y”, $=0,3$ no eixo “z” e $p=0,04$ na A_t , rejeitando a hipótese nula, conforme a tabela 15.

Tabela 15 – Resultados do teste U de Mann-Whitney no grupo SC-II

Pares	Valor-p no eixo “x” a_{whx}	Valor-p no eixo “y” a_{why}	Valor-p no eixo “z” a_{whz}	A_t	Consideração
Aço Inox e Aço carbono	0,04	0,75	0,70	0,40	Rejeitou-se a hipótese nula na variável a_{wx} e reteve-se a hipótese nula para as variáveis a_{wy} , a_{wz} e A_t
Aço Inox e Alumínio	0,93	0,24	0,40	0,15	Reteve-se a hipótese nula em todas as variáveis
Aço carbono e Alumínio	0,04	0,59	0,32	0,04	Rejeitou-se a hipótese nula nas variáveis a_{wx} e A_t e reteve-se a hipótese nula para as variáveis a_{wy} , e a_{wz}

Fonte: Autoria própria (2022).

Para o grupo ES-II, verificou diferenças sutis do valor-p da aceleração total entre o aço carbono e aço inox com o alumínio, deste modo, as características de resistência mecânica dos metais podem estar relacionadas com os valores de VMB.

Deste modo, considerando os resultados da tabela 15, o alumínio apresentou uma diferença sutil com o aço carbono na aceleração total A_t . Nas demais situações A_t , verificou-se uma semelhança.

De modo geral, não foram observadas diferenças da VMB nos ensaios dos materiais, entretanto, este elemento é fundamental para entender todas as variáveis possíveis no processo de avaliação da exposição a vibração.

4.2 Resultados da VMB utilizando ferramentas elétricas

Neste item 4.2, apresentou-se uma análise estatística dos dados de VMB com foco nos fabricantes das ferramentas elétricas. Utilizou-se os testes estatísticos de Kruskal-Wallis e de U de Mann-Whitney, para verificar se existem diferenças na vibração entre as ferramentas fabricadas pela marca “A”, “B” e “C”, quando se corta diferentes materiais. Para tanto, analisou-se os dados de aceleração ponderada nos eixos “x” (a_{whx}), “y” (a_{why}) e “z” (a_{whz}) com a fixação do acelerômetro nos punhos principal e auxiliar, e a aceleração total A_t , o tempo máximo de exposição e do Dy (o

tempo para surgimento da síndrome dos dedos brancos). considerando as diferentes ferramentas elétricas utilizadas nos grupos SC-I e SC-II, do grupo SM-I e dos grupos ES-I e ES-II.

Para mensurar a vibração ocupacional, adotou-se o valor total de vibração A_t ao qual o sistema de braço foi exposto, calculado pela Equação 2, a partir dos sinais captados pelo acelerômetro nos três eixos (“x”, “y” e “z”).

Comparou-se os resultados com os valores do quadro 2, da norma de higiene ocupacional NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013) e pelos valores do quadro 3, estabelecidos pela Diretiva Europeia 2002/44/EU (EC, 2002).

Para tanto, a partir dos valores da aceleração total (A_t) estabeleceu-se que a exposição a VMB se repete ao longo do tempo de 480 minutos, ou 8 horas, para calcular a aceleração normalizada, $A(8)$.

4.2.1 Resultados da VMB utilizando serras circulares

No grupo SC-I, analisou-se 44 ensaios, 22 casos utilizando-se serras circulares do fabricante “A” e 22 casos utilizando-se serras circulares do fabricante “B”, fixando o acelerômetro no punho principal, conforme o quadro 25.

Quadro 25 – Tamanho das amostras do grupo SC-I: foco nos fabricantes

Grupo	Fabricantes	Casos
SC-I	Fab. A	22
	Fab. B	22
	Total	44

Fonte: Autoria própria (2022).

No grupo SC-I, nos ensaios com carga, estimou-se uma aceleração ponderada no eixo “x” para as serras circulares do fabricante “A” em $2,12 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,28 \text{ m/s}^2$ e erro padrão $0,06$; e para as do fabricante “B”, em $0,77 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,12 \text{ m/s}^2$ e erro padrão $0,03 \text{ m/s}^2$.

No eixo “y”, identificou-se aceleração ponderada de $1,82 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,24 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,05 \text{ m/s}^2$ para as serras circulares do fabricante “A”, e aceleração ponderada de $1,20 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,16 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,03 \text{ m/s}^2$ para as serras circulares do Fabricante “B”.

No eixo “z”, identificou-se aceleração ponderada de $0,73 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,11 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,02 \text{ m/s}^2$ para as serras do Fabricante “A”, e aceleração ponderada de $0,85 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,18 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,04 \text{ m/s}^2$ para as serras do fabricante “B”, conforme o quadro 26.

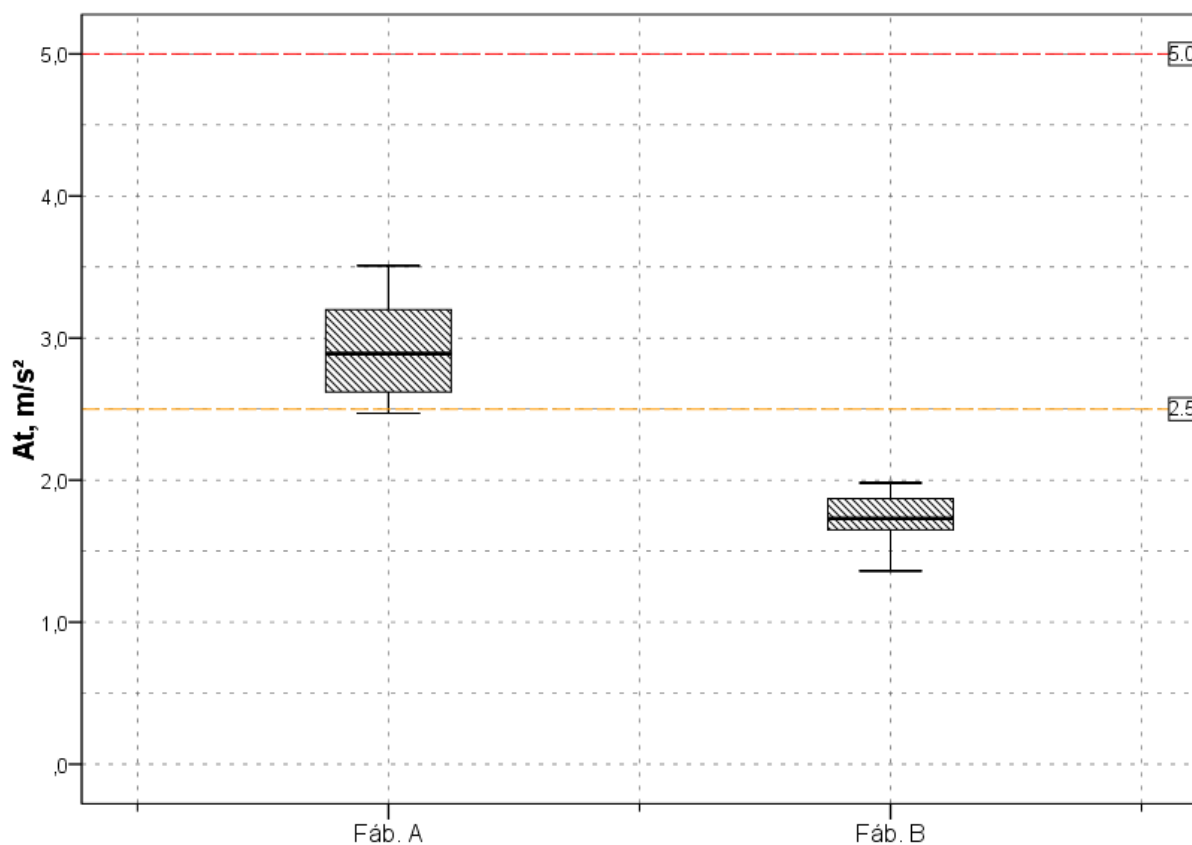
Quadro 26 – Resultados da aceleração ponderada: eixos “x”, “y” e “z” – Grupo SC-I

Fabricante	Acelerações ponderadas (m/s^2)		
	x	y	z
Fáb. A	2,12	1,82	0,73
Fáb. B	0,77	1,2	0,85

Fonte: Autoria própria (2022).

No corte das madeiras com as serras circulares da fabricante “A”, estimou-se uma aceleração total de $2,89 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,34 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,07 \text{ m/s}^2$. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, a aceleração total foi de $1,73 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,18 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,38 \text{ m/s}^2$, conforme a figura 13.

Figura 13 – Boxplot da aceleração total A_t do grupo SC-I



Fonte: Autoria própria (2022).

Utilizando-se as serras circulares do fabricante “A”, os valores de aceleração total A_t estavam 15% acima do limite de ação e, utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, estavam 30% abaixo do limite de ação.

Deste modo, a VMB nas serras circulares dos fabricantes A e do fabricante “B”, avaliada na empunhadura principal, demonstrou um situação de baixo risco, ($A(8) < 2,5 \text{ m/s}^2$), nesta situação, diante da exposição, deve-se manter a atenção, principalmente, como manter o controle médico periódico da saúde do trabalhadores e o cuidado com a manutenção das ferramentas elétricas.

Na tabela 16, apresentou-se o teste U de Mann-Whitney de amostras independentes no grupo SC-I. Na aceleração, o valor foi de $p = 0,00$ para um nível de significância de 5%; rejeita-se a hipótese nula.

Tabela 16 – Resultado do teste U de Mann-Whitney do grupo SC-I

Hipótese	Valor-p	α	Consideração
A distribuição da aceleração total A_t é a mesma entre o uso das serras circulares do fabricante “A” e o fabricante “B”	0,00	0,05	Rejeita a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

Desse modo, observou-se que as ferramentas do fabricante “A” apresentaram uma VMB superior à do fabricante “B”. Ao comparar com os limites da NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013) e da Diretiva Europeia 2002/44/EU (EC, 2002), verificou-se que as serras circulares do fabricante “A” estão acima do limite de ação, de $2,5 \text{ m/s}^2$, sendo uma situação que exige atenção para que a VMB não afete a saúde dos trabalhadores.

A partir dos resultados da aceleração total, calculou-se o tempo máximo de exposição das serras circulares do fabricante “A” em 830 minutos, com desvio padrão de 94 minutos e erro padrão de 20 minutos. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, o tempo máximo de exposição de 1387 minutos, com desvio padrão de 156 minutos e erro padrão de 33 minutos; portanto, as ferramentas do fabricante “B” podem ser utilizadas durante até 20 horas de serviços.

Para um uso estimado de 480 minutos, considerando o critério da Norma ISO 5349-1: 2001 (ISO, 2001a), o tempo para surgimento da síndrome dos dedos brancos com o uso da serra circular do fabricante “A” é de 10,3 anos, desvio padrão de 1,2 anos e erro padrão de 0,26 anos; com o uso da serra circular do fabricante “B”, é de

17,8 anos, desvio padrão de 2,1 anos e erro padrão de 0,45 anos, conforme a quadro 27.

Quadro 27 – Resultados do tempo máximo de exposição e do D_y do grupo SC-I

Fabricante	Tempo máximo de exposição (min)	D_y (anos)
Fab. "A"	830	10,33
Fab. "B"	1387	17,79

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto, ao comparar-se a média de D_y para as serras circulares estudadas, com a norma ISO 5349-1:2001 ISO (2001b), a tarefa de cortar os materiais madeireiros com as ferramentas dos fabricantes "A" e "B", no punho principal, apontou o risco de 10% de os trabalhadores desenvolverem a síndrome dos dedos brancos em 20 anos.

No grupo SC-II, analisou-se 44 ensaios, 22 casos utilizando serras circulares do fabricante "A" e 22 casos utilizando serras circulares do fabricante "B", fixando o acelerômetro no punho principal, conforme o quadro 28.

Quadro 28 – Tamanho das amostras grupo SC-II: foco nos fabricantes

Grupo	Fabricantes	Casos
SC-II	Fab. "A"	22
	Fab. "B"	22
	Total	44

Fonte: Autoria própria (2022).

No grupo SC-II, calculou-se uma aceleração ponderada no eixo "x" para as serras circulares do fabricante "A" de $1,54 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,24 \text{ m/s}^2$ e erro padrão $0,05$; e para as do fabricante "B", uma aceleração ponderada de $2,0 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,54 \text{ m/s}^2$ e erro padrão $0,11 \text{ m/s}^2$.

No eixo "y", identificou-se uma aceleração ponderada de $1,14 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,51 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,11 \text{ m/s}^2$ para as serras circulares do fabricante "A"; e uma aceleração ponderada de $1,35 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,28 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,06 \text{ m/s}^2$ para as serras circulares do fabricante "B".

No eixo "z", identificou-se uma aceleração ponderada de $2,06 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,76 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,16 \text{ m/s}^2$ para as serras do fabricante

“A”; e aceleração ponderada de $0,53 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,20 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,04 \text{ m/s}^2$ para as serras do fabricante “B”, conforme o quadro 29.

Quadro 29 – Resultados da aceleração ponderada:

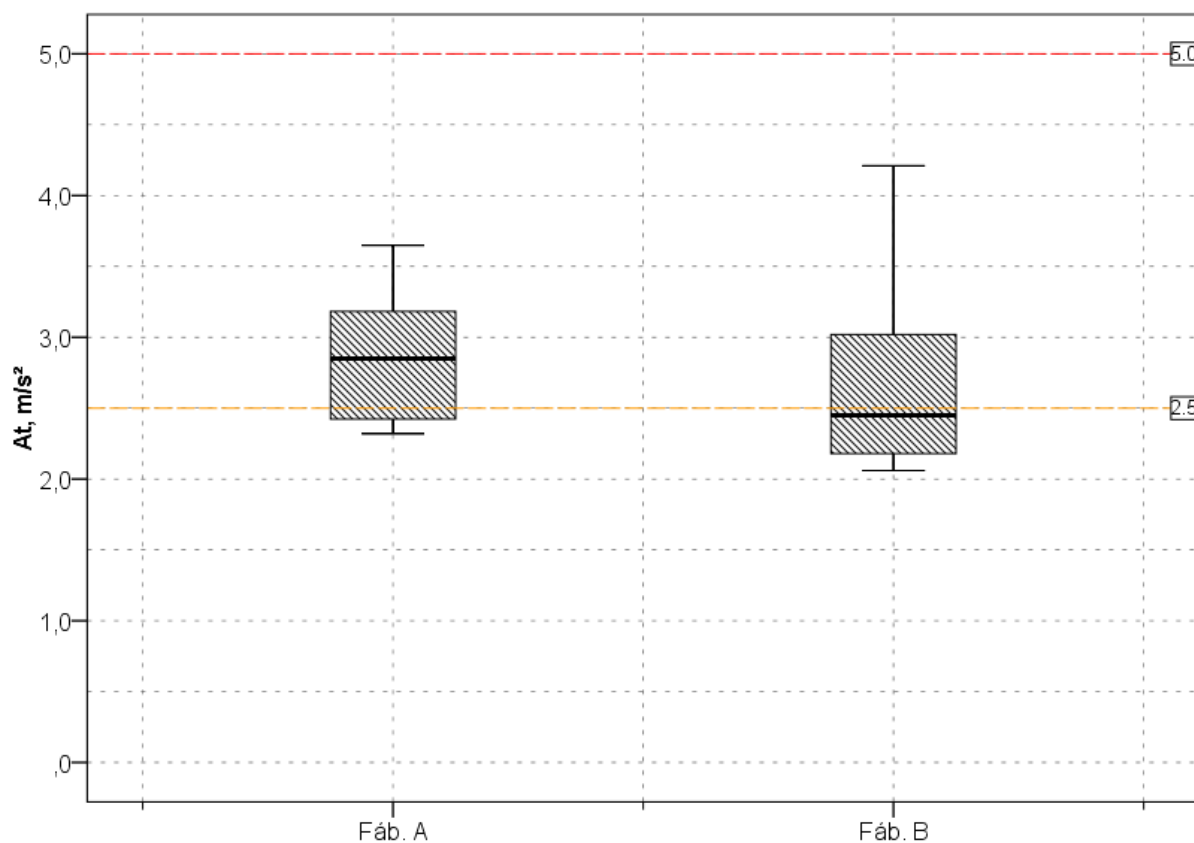
eixos “x”, “y” e “z” – Grupo SC-II

Fabricante	Acelerações ponderadas (m/s^2)		
	x	y	z
Fab. “A”	1,54	1,14	2,06
Fab. “B”	2,00	1,35	0,53

Fonte: Autoria própria (2022).

No corte das madeiras com as serras circulares do fabricante “A”, estimou-se uma aceleração total de $2,85 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,41 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,09 \text{ m/s}^2$. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, a aceleração total foi de $2,45 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,63 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,13 \text{ m/s}^2$, conforme a figura 14.

Figura 14 – Boxplot da aceleração total A_t do grupo SC-II



Fonte: Autoria própria (2022).

Os valores de aceleração total A_t da serra circular do fabricante “A” estavam 12% acima do limite de ação, e das ferramentas do fabricante “B” estavam 2% abaixo do limite de ação.

Na tabela 17, apresentou-se o teste U de Mann-Whitney de amostras independentes no grupo SC-II, com aceleração no valor de $p=0,145$, para um nível de significância de 5%; reteve-se a hipótese nula.

Tabela 17 – Resultado do teste U de Mann-Whitney do grupo SC-II

Hipótese	Valor-p	α	Consideração
A distribuição da aceleração total A_t é a mesma entre o uso das serras circulares do fabricante “A” e do fabricante “B”	0,145	0,05	Reteve-se a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto, de acordo com o resultado do teste U de Mann-Whitney, não há diferenças entre as serras circulares do fabricante “A” e da “B”.

A partir dos resultados da aceleração ponderada, calculou-se o tempo máximo de exposição das serras circulares do fabricante “A” em 840 minutos, com desvio padrão de 123 minutos e erro padrão de 26 minutos. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, o tempo máximo de exposição foi 978 minutos, com desvio padrão de 188 minutos e erro padrão de 40 minutos; portanto, as ferramentas do fabricante B podem ser utilizadas durante até 13 horas de serviços.

Para um uso estimado de 480 minutos, considerando o critério da Norma ISO 5349-1: 2001 (ISO, 2001a), o tempo para surgimento da síndrome dos dedos brancos com o uso da serra circular do fabricante “A” é de 10,46 anos, desvio padrão de 1,6 anos e erro padrão de 0,34 anos; e com o uso da serra circular do fabricante “B”, o tempo é de 12,28 anos, desvio padrão de 2,5 anos e erro padrão de 0,53 anos, conforme o quadro 30.

Quadro 30 – Resultados do tempo máximo de exposição e do D_y do grupo SC-II

Fabricante	Tempo máximo de exposição (min/horas)	D_y (anos)
Fab. “A”	840	10,46
Fab. “B”	978	12,28

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto, ao comparar-se a média de D_y para as serras circulares estudadas, com a norma ISO 5349-1:2001 ISO (2001b), a tarefa de cortar os materiais madeireiros com as ferramentas dos fabricantes “A” e “B”, no punho auxiliar, apontou o risco de 10% de os trabalhadores desenvolverem a síndrome dos dedos brancos em 11 anos.

Deste modo, a VMB nas serras circulares dos fabricantes “A” e do fabricante “B”, avaliada na empunhadura auxiliar, demonstrou um situação de baixo risco, ($A(8) < 2,5 \text{ m/s}^2$), nesta situação, deve-se manter a atenção, principalmente, como manter o controle médico periódico da saúde do trabalhadores e o cuidado com a manutenção das ferramentas elétricas.

Desta forma, mesmo atendendo aos limites da NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013) e da Diretiva Europeia 2002 (EC, 2002), existem diferenças dos valores de VMB entre as empunhaduras principais e a auxiliar, isto significa, que a exposição das mãos que seguram as empunhaduras principal e auxiliar apresentar diferença na exposição a VMB.

4.2.2 Resultados da VMB utilizando serras mármore

No grupo SM-I, analisou-se 44 ensaios, 22 casos utilizando serras mármore do fabricante “A” e 22 casos utilizando serras mármore do fabricante “B”, fixando o acelerômetro no punho principal, conforme o quadro 31.

Quadro 31 – Tamanho das amostras do grupo SM-I: foco nos fabricantes

Grupo	Fabricantes	Casos
SM-I	Fab. “A”	22
	Fab. “B”	22
	Total	44

Fonte: Autoria própria (2022).

No grupo SM-I, nos ensaios com carga, estimou-se uma aceleração ponderada no eixo “x” para as serras mármore do fabricante “A” em $1,87 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,39 \text{ m/s}^2$ e erro padrão $0,08$; e para as do fabricante “B” em $1,93 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,49 \text{ m/s}^2$ e erro padrão $0,10 \text{ m/s}^2$. No eixo “y” identificou-se uma aceleração ponderada de $2,44 \text{ m/s}^2$, com um desvio padrão de $0,61 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,13 \text{ m/s}^2$ para as serras mármore do fabricante “A”; e uma aceleração ponderada de $2,25 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,63 \text{ m/s}^2$ e erro padrão

de $0,13 \text{ m/s}^2$ para as serras mármores do fabricante “B”. No eixo “z”, identificou-se uma aceleração ponderada de $0,92 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,20 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,04 \text{ m/s}^2$ para as serras mármores do fabricante “A” e aceleração ponderada de $1,26 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,37 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,08 \text{ m/s}^2$ para as serras do fabricante “B”, conforme o quadro 32.

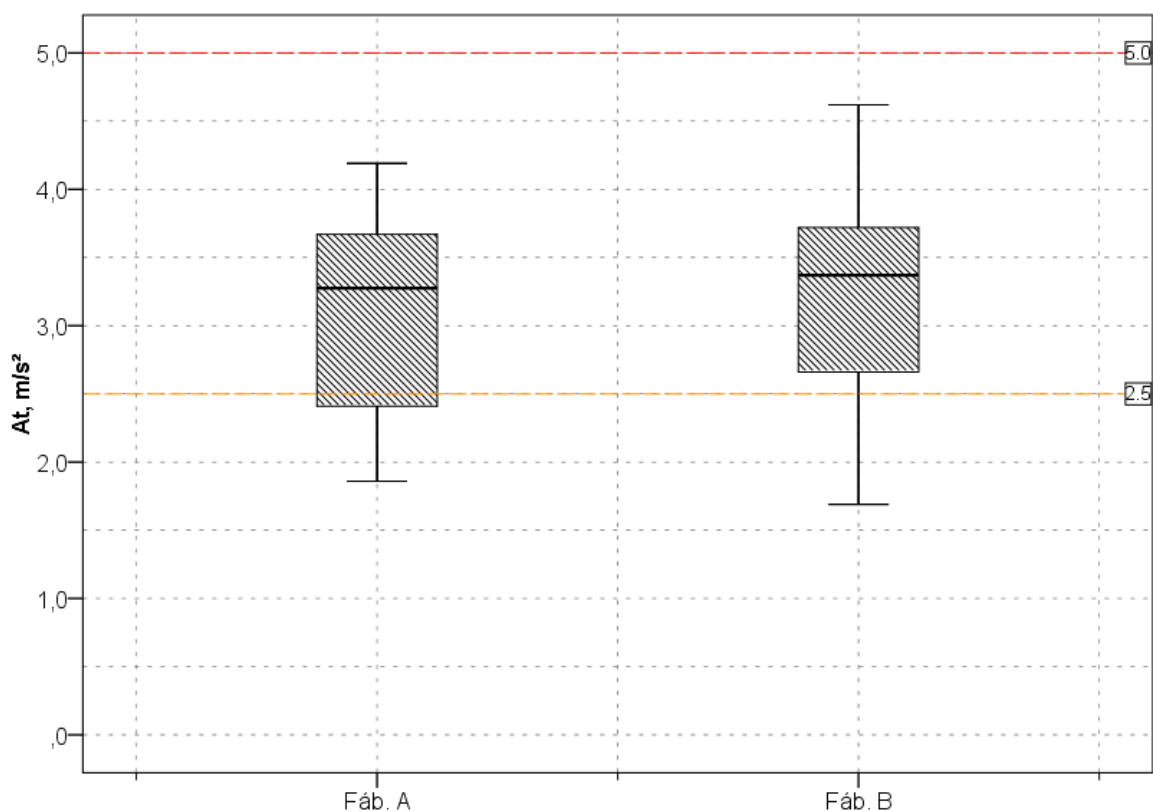
Quadro 32 – Resultados das medições de vibração ponderada do Grupo SM-I

Fabricante	Acelerações ponderadas (m/s^2)		
	x	y	z
Fáb. A	1,87	2,44	0,92
Fáb. B	1,93	2,25	1,26

Fonte: Autoria própria (2022).

No corte das rochas ornamentais com as serras circulares do fabricante “A”, estimou-se uma aceleração total de $3,27 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,69 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,14 \text{ m/s}^2$. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, a aceleração total foi de $3,37 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,86 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,18 \text{ m/s}^2$, conforme a figura 15.

Figura 15 – Boxplot da aceleração total A_t no grupo SM-I



Fonte: Autoria própria (2022).

Observou-se que os valores de aceleração total A_t das serras mármores das fabricantes “A” e “B” estavam acima do limite de ação. Deste modo, os valores de aceleração total A_t da serra mármore do fabricante “A” estavam 31% acima do limite de ação, e das ferramentas do fabricante “B” estavam 35% acima do limite de ação.

Deste modo, a VMB nas serras mármores dos fabricantes A e do fabricante B, demonstrou um situação de risco intermediário, estando a VMB entre o nível de ação e os valores-limite de exposição (que é $2,5 \text{ m/s}^2 < A(8) < 5,0 \text{ m/s}^2$), que exigem medidas de intervenção, como o controle do tempo de uso das serras mármores, como manter o controle médico periódico da saúde do trabalhadores.

Na tabela 18, apresentou-se o teste U de Mann-Whitney de amostras independentes no grupo SM-I, cuja aceleração obteve o valor de $p=0,66$, para um nível de significância de 5%; reteve-se a hipótese nula.

Tabela 18 – Teste U de Mann-Whitney do grupo SM-I

Hipótese	Valor-p	α	Consideração
A distribuição da aceleração total A_t é a mesma entre o uso das serras circulares do fabricante A e o fabricante B	0,66	0,05	Reteve-se a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto, de acordo com o resultado do teste U de Mann-Whitney, não há diferenças entre as serras mármores do fabricante “A” e da “B”.

A partir dos resultados da aceleração ponderada, calculou-se o tempo máximo de exposição das serras circulares do fabricante “A” em 733 minutos, com desvio padrão de 219 minutos e erro padrão de 46 minutos. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, o tempo máximo de exposição foi de 713 minutos, com desvio padrão de 269 minutos e erro padrão de 57 minutos; portanto, as ferramentas do fabricante B podem ser utilizadas durante até 20 horas de serviços.

Para um uso estimado de 480 minutos, considerando o critério da Norma ISO 5349-1:2001 (ISO, 2001a), o tempo para surgimento da síndrome dos dedos brancos com o uso da serra circular do fabricante “A” é de 9,05 anos, desvio padrão de 2,9 anos e erro padrão de 0,62 anos; e com o uso da serra circular do fabricante “B” é de 8,79 anos, desvio padrão de 3,58 anos e erro padrão de 0,76 anos, conforme o quadro 33.

Quadro 33 – Resultados do tempo máximo de exposição e do Dy do grupo SM-I

Fabricante	Tempo máximo de exposição (min)	Dy (anos)
Fab. "A"	733	9,05
Fab. "B"	713	8,79

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto, ao comparar-se a média de Dy para as serras circulares estudadas, com a norma ISO 5349-1:2001 ISO (2001b), a tarefa de cortar os materiais madeireiros com as ferramentas dos fabricantes "A" e "B", no punho principal, apontou o risco de 10% de os trabalhadores desenvolverem a síndrome dos dedos brancos em 9 anos.

Deste modo, para prevenção da SVMB, considerando os critérios da NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013) e pela Diretiva Europeia 2002/44/EU (EC, 2002), para a tarefa de cortar rochas ornamentais deve ser adotadas medidas preventivas como executar exames ocupacionais periódicos, não extrapolar a jornada diária de 8 horas e manter as serras mármore em boas condições.

4.2.3 Resultados da VMB utilizando esmerilhadeiras sem dispositivos de redução de vibração

No grupo ES-I, analisou-se 66 ensaios, 22 casos utilizando-se esmerilhadeira do fabricante "A", sem redutor de vibração no punho principal, 22 casos utilizando esmerilhadeira do fabricante "B" e 22 casos utilizando esmerilhadeira do fabricante "C", fixando o acelerômetro no punho principal, conforme o quadro 34.

Quadro 34 – Tamanho das amostras do grupo ES-I sem redutor de VMB: foco nos fabricantes

Grupo	Fabricantes	Casos
ES-I	Fab. "A"	22
	Fab. "B"	22
	Fab. "C"	22
	Total	66

Fonte: Autoria própria (2022).

No grupo ES-I, nos ensaios com carga, estimou-se uma aceleração ponderada no eixo "x" para as esmerilhadeiras do fabricante "A" em 3,51 m/s², com desvio padrão de 0,79 m/s² e erro padrão 0,16 m/s²; para as do fabricante "B", em

3,47 m/s², com desvio padrão de 0,85 m/s² e erro padrão 0,18 m/s²; e para as esmerilhadeiras do fabricante “C”, em 3,05 m/s², com desvio padrão de 0,71 m/s² e erro padrão 0,15 m/s².

No eixo “y” identificou-se uma aceleração ponderada de 10,91 m/s², com desvio padrão de 2,63 m/s² e erro padrão de 0,56 m/s² para as esmerilhadeiras do fabricante “A”; uma aceleração ponderada de 10,00 m/s², com desvio padrão de 1,97 m/s² e erro padrão de 0,42 m/s² para as esmerilhadeiras do fabricante “B”; e para as esmerilhadeiras do fabricante “C” em 10,01 m/s², com desvio padrão de 1,37 m/s² e erro padrão 0,29 m/s².

No eixo “z”, identificou-se uma aceleração ponderada de 3,84 m/s², com desvio padrão de 0,58 m/s² e erro padrão de 0,12 m/s² para as serras do fabricante “A”; aceleração ponderada de 2,97 m/s², com desvio padrão de 0,67 m/s² e erro padrão de 0,14 m/s² para as serras do fabricante “B”; e para as esmerilhadeiras do fabricante “C”, em 2,73 m/s², com desvio padrão de 0,83 m/s² e erro padrão 0,18 m/s², conforme o quadro 35.

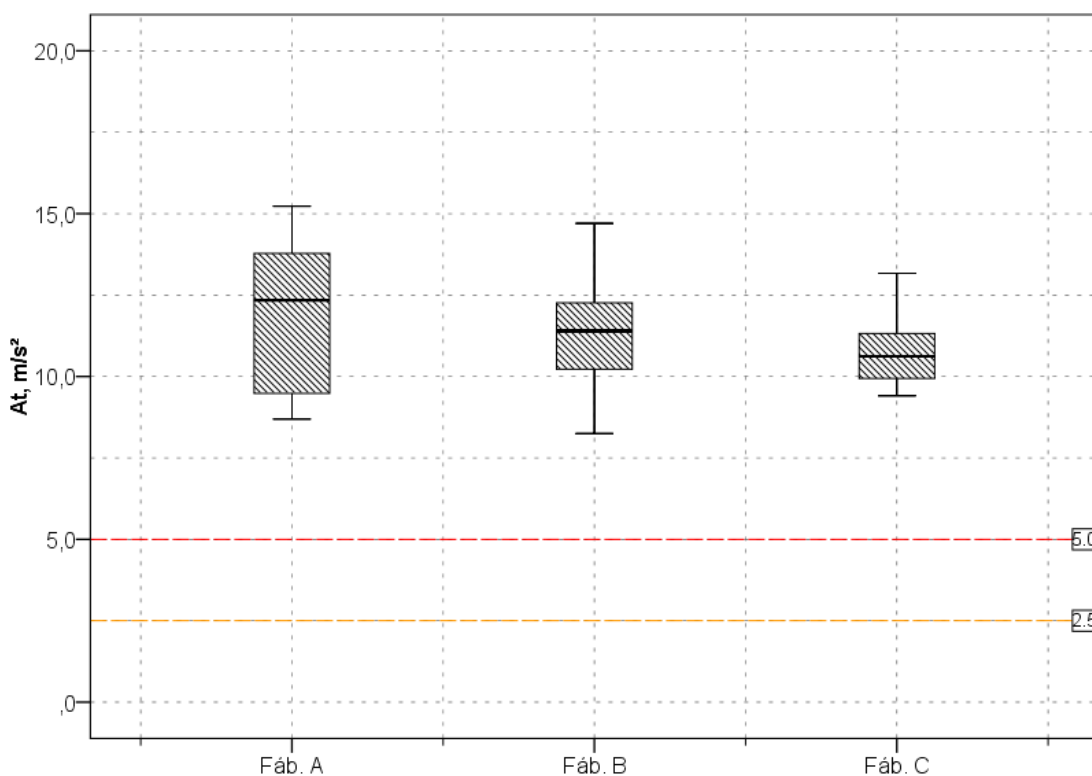
Quadro 35 – Resultados das medições de vibração ponderada do Grupo ES-I sem redutor de VMB

Fabricante	Acelerações ponderadas (m/s ²)		
	x	y	z
Fab. “A”	3,51	10,91	3,84
Fab. “B”	3,47	10,00	2,97
Fab. “C”	3,05	10,01	2,73

Fonte: Autoria própria (2022).

No corte dos metais com as esmerilhadeiras do fabricante “A”, estimou-se uma aceleração total de 12,33 m/s², com desvio padrão de 2,32 m/s² e erro padrão de 0,49 m/s². Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, a aceleração total foi de 11,39 m/s², com desvio padrão de 1,65 m/s² e erro padrão de 0,35 m/s². Utilizando-se as ferramentas do fabricante “C”, a aceleração total de 10,62 m/s², com desvio padrão de 1,13 m/s² um erro padrão de 0,24 m/s², conforme a figura 16.

Figura 16 – Boxplot da aceleração total A_t no grupo ES-I sem redutor de VMB



Fonte: Autoria própria (2022).

A aceleração total, A_t , durante o corte dos materiais metálicos utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “A”, nos ensaios sem carga, foi estimada em 148% acima do limite de tolerância. Utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “B”, a aceleração total A_t foi estimada em 127% acima do limite de tolerância. Utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “C”, a aceleração total A_t foi estimada em 112% acima de tolerância.

Deste modo, a VMB nas esmerilhadeiras dos fabricantes A, do fabricante B e do fabricante C, avaliada na empunhadura principal, indicou-se uma situações de alto risco ($A(8) > 5,0 \text{ m/s}^2$), que determinam uma intervenção imediata por meio da introdução de intervalos dos trabalhadores expostos, enquanto se aguarda a implementação de intervenções técnicas a fim de levar as condições de exposição a valores mais baixos do que $A(8) = 5,0 \text{ m/s}^2$.

Na tabela 19, apresenta-se o resultado do teste de Kruskal-Wallis de $p=0,32$, para um nível de significância de 5%; reteve-se a hipótese nula.

Tabela 19 – Resultado do teste de Kruskal-Wallis do grupo ES-I sem redutor de VMB

Fabricantes	Valor-p	α	Decisão
A distribuição da aceleração A_t é a mesma entre as fabricantes “A”, “B” e “C”	0,32	0,05	Reteve-se a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto, de acordo com o resultado do teste de Kruskal-Wallis, não há diferenças entre as esmerilhadeiras dos fabricantes “A”, “B” e “C”.

A partir dos resultados da aceleração ponderada, calculou-se o tempo máximo de exposição das serras circulares do fabricante “A” em 225 minutos, com desvio padrão de 53 minutos e erro padrão de 11 minutos. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, o tempo máximo de exposição foi 210 minutos, com desvio padrão de 34 minutos e erro padrão de 7 minutos. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “C”, o tempo máximo de exposição foi 225 minutos, com desvio padrão de 22 minutos e erro padrão de 5 minutos. Desse modo, as ferramentas do fabricante “A”, “B” e “C” podem ser utilizadas durante até 3 horas de serviços.

Para um uso estimado de 480 minutos, considerando o critério da Norma ISO 5349-1: 2001 (ISO, 2001a), com o uso da esmerilhadeira do fabricante “A”, calculou-se um tempo para surgimento da síndrome dos dedos brancos (D_y) de 2,6 anos, com desvio padrão de 0,65 anos e erro padrão de 0,14 anos. Utilizando a esmerilhadeira do fabricante “B”, calculou-se um D_y de 2,4 anos, com desvio padrão de 0,41 anos e erro padrão de 0,08 anos. Utilizando a esmerilhadeira do fabricante “C”, calculou-se um D_y de 2,6 anos, com desvio padrão de 0,27 anos e um erro padrão de 0,05 anos, conforme a quadro 36.

Quadro 36 – Resultados do tempo máximo de exposição e do D_y do grupo ES-I sem redutor de VMB

Fabricantes	Tempo máximo de exposição (min)	D_y (anos)
Fab. “A”	225	2,6
Fab. “B”	210	2,4
Fab. “C”	225	2,6

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto, ao comparar-se a média de D_y para as esmerilhadeira estudadas, com a norma ISO 5349-1:2001 ISO (2001b), a tarefa de cortar os materiais metálicos

utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “A”, “B” e “C” apontou o risco de 10% de os trabalhadores desenvolverem a síndrome dos dedos brancos em 2 anos e 6 meses.

No grupo ES-II, analisou-se 66 ensaios, 22 casos utilizando-se esmerilhadeira do fabricante “A”, sem redutor de vibração no punho auxiliar, 22 casos utilizando esmerilhadeira do fabricante “B” e 22 casos utilizando esmerilhadeira do fabricante “C”, fixando o acelerômetro no punho auxiliar, conforme o quadro 37.

Quadro 37 – Tamanho das amostras do grupo ES-II sem redutor de VMB: foco nos fabricantes

Grupo	Fabricantes	Casos
ES-I	Fab. “A”	22
	Fab. “B”	22
	Fab. “C”	22
	Total	66

Fonte: Autoria própria (2022).

No grupo ES-I, nos ensaios com carga, estimou-se uma aceleração ponderada no eixo “x” para as esmerilhadeiras do fabricante “A” em $4,09 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,71 \text{ m/s}^2$ e erro padrão $0,15 \text{ m/s}^2$; para as do fabricante “B”, em $4,38 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,3 \text{ m/s}^2$ e erro padrão $0,27 \text{ m/s}^2$; e para as esmerilhadeiras do fabricante “C”, em $4,08 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,88 \text{ m/s}^2$ e erro padrão $0,18 \text{ m/s}^2$.

No eixo “y”, identificou-se uma aceleração ponderada de $4,46 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,5 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,32 \text{ m/s}^2$ para as esmerilhadeiras do fabricante “A”; uma aceleração ponderada de $4,13 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,13 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,24 \text{ m/s}^2$ para as esmerilhadeiras do fabricante “B”; e para as esmerilhadeiras do fabricante “C”, em $4,1 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,62 \text{ m/s}^2$ e erro padrão $0,13 \text{ m/s}^2$.

No eixo “z”, identificou-se uma aceleração ponderada de $3,58 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,86 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,18 \text{ m/s}^2$ para as serras do fabricante “A”; aceleração ponderada de $4,48 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $0,54 \text{ m/s}^2$ e erro padrão de $0,11 \text{ m/s}^2$ para as serras do fabricante “B”; e para as esmerilhadeiras do fabricante “C”, em $4,23 \text{ m/s}^2$, com desvio padrão de $1,23 \text{ m/s}^2$ e erro padrão $0,25 \text{ m/s}^2$, conforme o quadro 38.

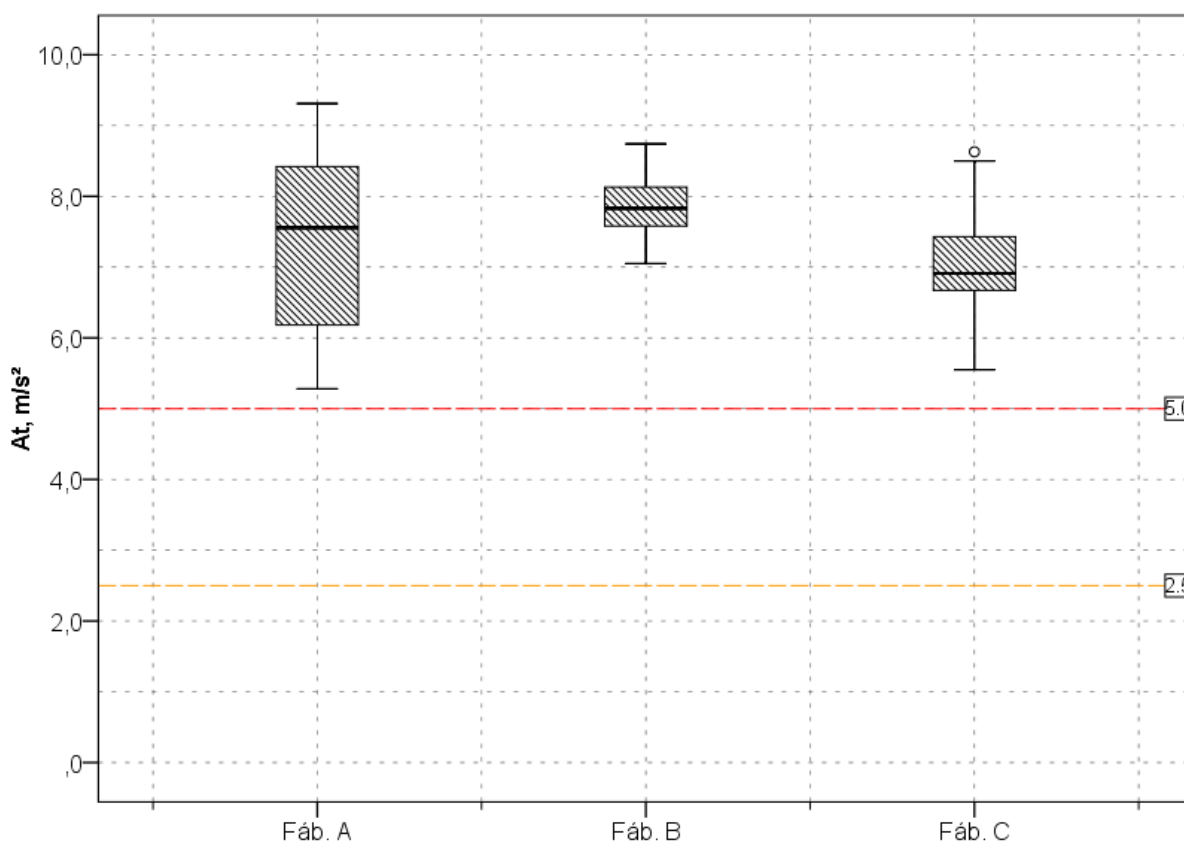
Quadro 38 – Resultados das medições de vibração ponderada do Grupo ES-II sem redutor de VMB

Fabricantes	Acelerações ponderadas (m/s ²)		
	x	y	z
Fab. "A"	4,09	4,46	3,58
Fab. "B"	4,38	4,13	4,48
Fab. "C"	4,08	4,10	4,23

Fonte: Autoria própria (2022).

No corte dos metais com as esmerilhadeiras do fabricante "A", estimou-se uma aceleração total de 7,55 m/s², com desvio padrão de 1,36 m/s² e erro padrão de 0,28 m/s². Utilizando-se as ferramentas do fabricante "B", a aceleração total foi de 7,83 m/s², com desvio padrão de 0,43 m/s² e u erro padrão de 0,09 m/s². Utilizando-se as ferramentas do fabricante "C", a aceleração total foi de 6,91 m/s², com desvio padrão de 0,81 m/s² e erro padrão de 0,17 m/s², conforme a figura 17.

Figura 17 – Boxplot da aceleração total A_t no grupo ES-II sem redutor de VMB



Fonte: Autoria própria (2022).

A aceleração total A_t durante o corte dos materiais metálicos utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “A” nos ensaios sem carga foi estimada em 50% acima do limite de exposição. Utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “B”, a aceleração total $A(8)$ foi estimada em 56% acima do limite de exposição. Utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “C”, a aceleração total A_t foi estimada em 38% acima do limite de exposição.

Deste modo, a VMB nas esmerilhadeiras dos fabricantes “A”, do fabricante “B” e do fabricante “C”, sem redutor de vibração, avaliada na empunhadura auxiliar, indicou-se uma situação de alto risco ($A(8) > 5,0 \text{ m/s}^2$), que determinam uma intervenção imediata por meio da introdução de intervalos dos trabalhadores expostos, enquanto se aguarda uma ferramenta que atenua a VMB, para valores baixos do que $A(8) = 5,0 \text{ m/s}^2$.

Na tabela 20, apresenta-se o resultado do teste de Kruskal-Wallis de valor $p=0,03$, para um nível de significância de 5%; reteve-se a hipótese nula.

Tabela 20 – Resultado do teste de Kruskal-Wallis do grupo ES-II sem redutor de VMB

Meio de fixação	Valor-p	α	Decisão
A distribuição da aceleração total A_t é a mesma entre os fabricantes “A”, “B” e “C”	0,03	0,05	Rejeita a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto, de acordo com o resultado do teste de Kruskal-Wallis, observou-se que há diferenças entre as esmerilhadeiras do fabricante “A”, “B” e “C”.

Para confirmar os resultados da VMB do punho auxiliar do teste de Kruskal-Wallis, aplicou-se o teste U de Mann-Whitney, combinou-se os fabricantes dois a dois: fabricante “A” e fabricante “B”; fabricante “A” e “C”; e fabricante “B” e “C”.

Para o par fabricante “A” e “B”, o valor foi $p=0,99$ no eixo “x”; $p=0,84$ no eixo “y”; $p=0,40$ na A_t ; reteve-se a hipótese nula. No eixo “z”, o valor foi $p=0,03$; rejeitou-se a hipótese nula. Para o par fabricante “A” e “C”, o valor foi $p=0,25$ no eixo “x”, $p=0,45$ no eixo “y”, $p=0,12$ no eixo “z” e $p=0,59$ na A_t ; reteve-se a hipótese nula para todas as variáveis. Entre o par fabricante “B” e “C”, o valor foi $p=0,99$ no eixo “x”, $p=0,84$ no eixo “y”, $p=0,31$ na A_t ; reteve-se a hipótese nula. Para a variável a_{whz} , o valor foi $p=0,3$ no eixo “z”, conforme a tabela 21.

Tabela 21 – Resultados do teste U de Mann-Whitney no grupo ES-II sem redutor de VMB

Pares	Valor-p no eixo “x”	Valor-p no eixo “y”	Valor-p no eixo “z”	A_t	Consideração
	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}		
Fabricante “A” e Fabricante “B”	0,99	0,84	0,03	0,31	Reteve-se a hipótese nula na variável a_{wx} , a_{wy} e A_t , rejeitou-se a hipótese nula para a variável a_{wz} .
Fabricante “A” e Fabricante “C”	0,25	0,45	0,12	0,59	Reteve-se a hipótese nula em todas as variáveis
Fabricante “B” e Fabricante “C”	0,47	0,22	0,58	0,01	Reteve-se a hipótese nula na variável a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} A(8), rejeitou-se a hipótese nula para a variável A_t

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir dos resultados da aceleração ponderada, calculou-se o tempo máximo de exposição das serras circulares do fabricante “A” em 318 minutos, com um desvio padrão de 64 minutos e erro padrão de 13 minutos.

Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B”, o tempo máximo de exposição foi 306 minutos, com desvio padrão de 17 minutos e erro padrão de 4 minutos. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “C”, o tempo máximo de exposição foi 335 minutos, com desvio padrão de 44 minutos e erro padrão de 9 minutos. Desse modo, as ferramentas do fabricante “A”, “B” e “C” podem ser utilizadas durante até 4 horas de serviços.

Considerando o critério da Norma ISO 5349-1: 2001 (ISO, 2001a), o tempo para surgimento da síndrome dos dedos brancos com o uso da esmerilhadeira do fabricante “A” é 3,72 anos, desvio padrão de 0,81 anos e erro padrão de 0,17 anos. Utilizando as esmerilhadeira do fabricante “B”, foi 3,58 anos, desvio padrão de 0,21 anos e erro padrão de 0,04 anos. Utilizando as esmerilhadeira do fabricante “C”, 3,95 anos, desvio padrão de 0,58 anos e erro padrão de 0,12 anos, conforme a quadro 39.

Quadro 39 – Resultados do tempo máximo de exposição e do D_y do grupo ES-II sem redutor de VMB

Fabricantes	Tempo máximo de exposição (min)	D_y (anos)
Fab. “A”	317	3,72
Fab. “B”	306	3,58
Fab. “C”	335	3,95

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto, ao comparar-se a média de D_y para as esmerilhadeiras estudadas, com a norma ISO 5349-1:2001 ISO (2001b), a tarefa de cortar os materiais metálicos utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “A”, “B” e “C” apontou o risco de 10% de os trabalhadores desenvolverem a síndrome dos dedos brancos em 2 anos e 6 meses.

Deste modo, nestas condições de acordo com os critérios da NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013) e pela Diretiva Europeia 2002/44/EU (EC, 2002), deve-se adotar medidas corretivas, como limitar o tempo diário da esmerilhadeiras pelos colaboradores, mudança dos processos de fabricação e medidas preventivas como executar exames ocupacionais periódicos, pois, a vigilância a saúde dos trabalhadores, diante do risco a SVMB permite a rápida identificação do problema de saúde e com as medidas de afastamento temporário preservar diminuir os danos causado pela SVMB.

4.2.4 Resultados da VMB utilizando esmerilhadeiras com dispositivos de redução de vibração.

No grupo ES-I, utilizando esmerilhadeiras novas, com modificações para reduzir a VMB, analisou-se 36 ensaios, 12 ensaios utilizando-se esmerilhadeira do fabricante “A_M”, 12 casos utilizando esmerilhadeira do fabricante “B_M” e 12 casos utilizando esmerilhadeira do fabricante “C_M”, fixando o acelerômetro no punho principal, conforme o quadro 40.

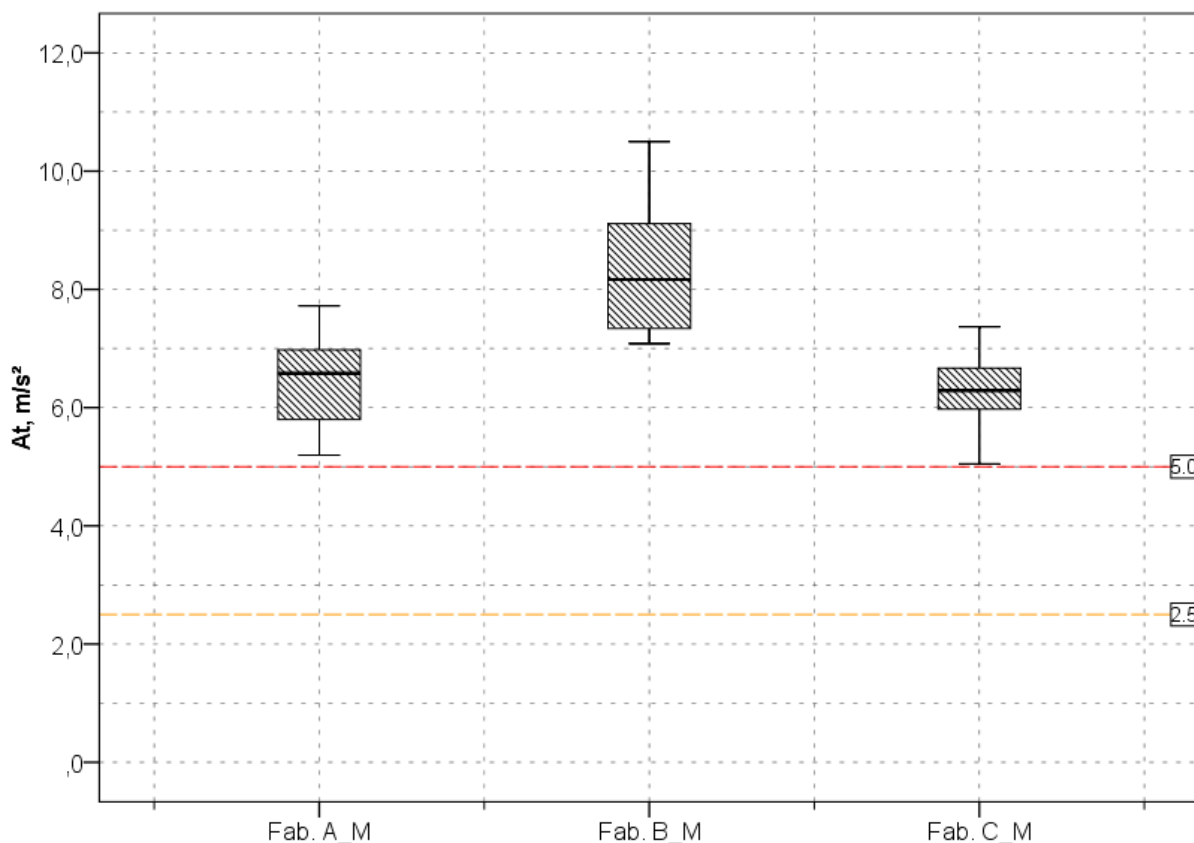
Quadro 40 – Tamanho das amostras do grupo ES-I com redutor de VMB: foco nos fabricantes

Grupo	Fabricantes	Casos
ES-I	Fáb. “A_M”	12
	Fáb. “B_M”	12
	Fáb. “C_M”	12
	Total	36

Fonte: Autoria própria (2022).

No corte dos metais com as esmerilhadeiras do fabricante “A_M”, estimou-se uma aceleração total de $6,58 \text{ m/s}^2$, com um desvio padrão de $0,79 \text{ m/s}^2$ e um erro padrão de $0,23 \text{ m/s}^2$. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B_M” a aceleração total de $8,16 \text{ m/s}^2$, com um desvio padrão de $1,06 \text{ m/s}^2$ e um erro padrão de $0,31 \text{ m/s}^2$. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “C_M” a aceleração total de $6,23 \text{ m/s}^2$, com um desvio padrão de $0,66 \text{ m/s}^2$ e um erro padrão de $0,19 \text{ m/s}^2$, conforme a figura 18.

Figura 18 – Boxplot da aceleração total A_t no grupo ES-I com redutor de VMB



Fonte: Autoria própria (2022).

A aceleração total $A(8)$, durante o corte dos materiais metálicos utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “A_M” nos ensaios sem carga a aceleração total $A(8)$ estimou-se valor de 31% acima do limite de tolerância. Utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “B_M” a aceleração total $A(8)$ estimou-se valor de 162% acima do limite de tolerância. Utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “C_M” a aceleração total $A(8)$ estimou-se valor de 25% acima da tolerância.

Deste modo, a VMB nas esmerilhadeiras dos fabricantes A, fabricante B e do fabricante C, com redutor de vibração, avaliada na empunhadura principal, indicou-se uma situações de alto risco ($A(8) > 5,0 \text{ m/s}^2$), que determinam uma intervenção imediata por meio da introdução de intervalos dos trabalhadores expostos e orientação aos trabalhadores sobre os riscos da VMB, para que ele também colabore com o controle do tempo de exposição.

A partir dos resultados da aceleração ponderada calculou-se o tempo máximo de exposição das esmerilhadeiras com sistemas anti vibração, do fabricante “A_M” de 364 minutos, com um desvio padrão de 48 minutos e um erro padrão de 14 minutos. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B_M” o tempo máximo de exposição de

293 minutos, com um desvio padrão de 35 minutos e um erro padrão de 10 minutos. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “C_M” o tempo máximo de exposição de 31 minutos, com um desvio padrão de 41 minutos e um erro padrão de 12 minutos. Deste modo, as ferramentas dos fabricantes “A_M”, “B_M” e “C_M”, podem ser utilizadas até 6 horas de serviços.

Considerando o critério da Norma ISO 5349-1: 2001 (ISO, 2001a), com o uso da esmerilhadeira do fabricante “A_M” calculou-se um tempo para surgimento da síndrome dos dedos brancos (*Dy*) de 4,3 anos, com um desvio padrão de 0,61 anos e um erro padrão de 0,17 anos.

Utilizando a esmerilhadeira do fabricante “B_M” calculou-se um *Dy* de 3,4 anos, com um desvio padrão de 0,44 anos e um erro padrão de 0,12 anos.

Utilizando a esmerilhadeira do fabricante “C_M” calculou-se um *Dy* de 4,5 anos, com um desvio padrão de 0,52 anos e um erro padrão de 0,15 anos, conforme a quadro 41.

Quadro 41 – Resultados do tempo máximo de exposição diária e do *Dy* do grupo ES-I com redutor de VMB

Fabricantes	Tempo máximo de exposição diárias (min)	<i>Dy</i> (anos)
Fáb. A_M	364	4,3
Fáb. B_M	293	3,4
Fáb. C_M	381	4,5

Fonte: Aatoria própria (2022).

Portanto, ao comparar-se a média de *Dy* para as esmerilhadeira estudas, com a norma ISO 5349-1:2001 ISO (2001b), a tarefa de cortar os materiais metálicos utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “A_M”, “B_M” e “C_M” apontou o risco de 10% de os trabalhadores desenvolverem a síndrome dos dedos brancos em 4 anos.

Desta forma, nestas condições de acordo com os critérios da NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013) e pela Diretiva Europeia 2002/44/EU (EC, 2002), deve-se adotar medidas corretivas, como limitar o tempo diário da esmerilhadeiras pelos colaboradores, mudança dos processos de fabricação e medidas preventivas como executar exames ocupacionais periódicos semestralmente.

No grupo ES-II analisou-se 66 ensaios, 22 casos utilizando-se esmerilhadeira do fabricante “A_M”, 22 casos utilizando esmerilhadeira do fabricante “B_M” e 22

casos utilizando esmerilhadeira do fabricante “C_M”, fixando o acelerômetro no punho auxiliar, conforme o quadro 42.

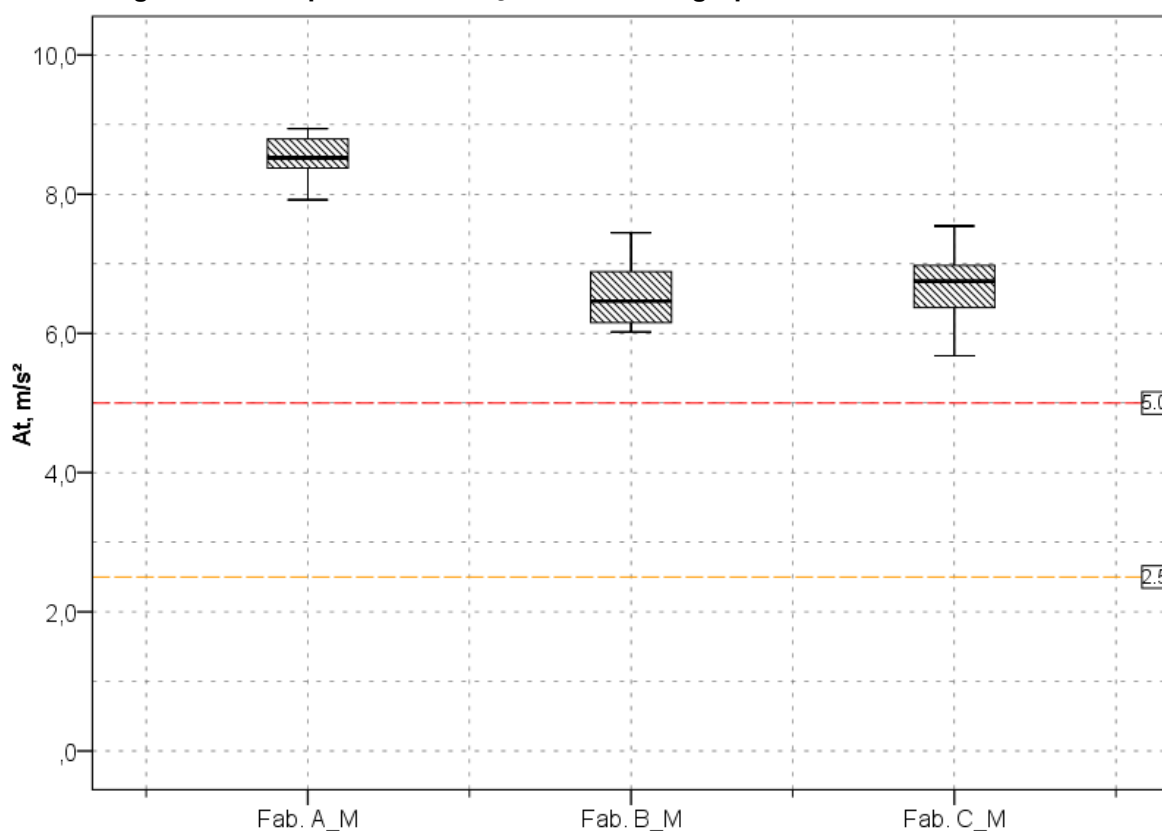
Quadro 42 – Tamanho das amostras do grupo ES-II com redutor de VMB: foco nos fabricantes

Grupo	Fabricantes	Casos
ES-II	Fáb. A_M	22
	Fáb. B_M	22
	Fáb. C_M	22
	Total	66

Fonte: Autoria própria (2022).

No corte dos metais com as esmerilhadeiras do fabricante “A_M”, estimou-se uma aceleração total de $8,52 \text{ m/s}^2$, com um desvio padrão de $0,31 \text{ m/s}^2$ e um erro padrão de $0,09 \text{ m/s}^2$. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B_M” a aceleração total de $6,4 \text{ m/s}^2$, com um desvio padrão de $0,47 \text{ m/s}^2$ e um erro padrão de $0,14 \text{ m/s}^2$. Utilizando-se as ferramentas do fabricante “C_M” a aceleração total de $6,75 \text{ m/s}^2$, com um desvio padrão de $0,52 \text{ m/s}^2$ e um erro padrão de $0,15 \text{ m/s}^2$, conforme a figura 19.

Figura 19 – Boxplot da aceleração total A_t no grupo ES-II com redutor de VMB



Fonte: Autoria própria (2022).

A aceleração total A_t durante o corte dos materiais metálicos utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “A_M” nos ensaios sem carga a aceleração total A_t estimou-se valor de 70% acima do limite de exposição. Utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “B_M” a aceleração total A_t estimou-se valor de 28% acima do limite de exposição. Utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “C_M” a aceleração total A_t estimou-se valor de 37% acima do limite de exposição.

Deste modo, a VMB nas esmerilhadeiras dos fabricantes “A_M”, fabricante “B_M” e do fabricante “C_M”, sem redutor de vibração, avaliada na empunhadura auxiliar, continuou indicando uma situações de alto risco ($A(8) > 5,0 \text{ m/s}^2$), sendo que, a introdução de intervalos, pausas, aos trabalhadores expostos deve ser adotados.

A partir dos resultados da aceleração ponderada calculou-se o tempo máximo de exposição das serras circulares do fabricante “A_M” de 218 minutos, com um desvio padrão de 11 minutos e um erro padrão de 3 minutos.

Utilizando-se as ferramentas do fabricante “B_M”, o tempo máximo de exposição de 371 minutos, com um desvio padrão de 25 minutos e um erro padrão de 7 minutos, utilizando-se as ferramentas do fabricante “C_M”, o tempo máximo de exposição foi de 355 minutos, com um desvio padrão de 29 minutos e um erro padrão de 8 minutos. Deste modo, as ferramentas do fabricante “A_M”, “B_M” e “C_M” podem ser utilizadas até 5 horas e 44 minutos de serviços.

Considerando o critério da Norma ISO 5349-1: 2001 (ISO, 2001a) o tempo para surgimento da síndrome dos dedos brancos com o uso da esmerilhadeira do fabricante “A_M” de 3,28 anos, desvio padrão de 0,13 anos e erro padrão de 0,08 anos. Utilizando as esmerilhadeira do fabricante “B_M” de 4,4 anos, desvio padrão de 0,32 anos e erro padrão de 0,09 anos. Utilizando as esmerilhadeira do fabricante “C_M” de 4,2 anos, desvio padrão de 0,36 anos e erro padrão de 0,1 anos, conforme a quadro 42.

Quadro 43 – Resultados do tempo máximo de exposição e do Dy do grupo ES-II com redutor de VMB

Fabricantes	Tempo máximo de exposição (min/horas)	Dy (anos)
Fáb. A_M	281	3,28
Fáb. B_M	375	4,40
Fáb. C_M	355	4,20

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto, ao comparar-se a média de Dy para as esmerilhadeira estudadas, com a norma ISO 5349-1:2001 ISO (2001b), a tarefa de cortar os materiais metálicos utilizando as esmerilhadeiras do fabricante “A_M”, “B_M” e “C_M”, no punho auxiliar, apontou o risco de 10% de os trabalhadores desenvolverem a síndrome dos dedos brancos em 4 anos.

Observou-se, que o tempo para a manifestação de SVMB, de acordo com a ISO 5.349-1:2, aumentou em torno de 1 ano, que é importante para que se tenha mais tempo para identificar a doença ocupacional.

Desta forma, nestas condições considerando os critérios da NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013) e pela Diretiva Europeia 2002/44/EU (EC, 2002), deve-se adotar medidas corretivas, como limitar o tempo diário da esmerilhadeiras pelos colaboradores, mudança dos processos de fabricação e medidas preventivas como executar exames ocupacionais periódicos semestralmente. Observou-se, um aumentando do tempo para a manifestação de SVMB em 6 meses.

4.3 Tempo para a manifestação da SVMB

Neste item 4.3, apresentou-se uma análise do tempo que o trabalhador exposto a VMB pode levar para desenvolver a síndrome dos dedos brancos (SVMB), usando as ferramentas elétricas. Nos grupos SC-I e SC-II, dos materiais madeireiros, analisou-se 60 ensaios usando as serras circular, no grupo SM-I, dos materiais rochosos, analisou-se 60 ensaios usando as serras mármore, e nos grupos ES-I e ES-II, dos materiais metálicos, analisou-se 60 casos usando as esmerilhadeiras, conforme o quadro 44.

Quadro 44 – Tamanho das amostras para Dy para todos os grupos

Grupos	Equipamentos	Casos
SC-I e SC-II	Serra Circular	60
SM-I	Serra Mármore	60
ES-I e ES-II	Esmerilhadeira	60

Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com a ISO 5349, o valor de exposição diária de aceleração total que propicia o desenvolvimento da síndrome de Raynaud em 10% dos trabalhadores

expostos pode ser calculado por meio de uma correlação envolvendo a aceleração de exposição diária apresentada pela Equação 5 e a duração total da exposição em anos.

O tempo para surgimento da síndrome dos dedos brancos com o uso da serra circular é 11,6 anos, com desvio padrão de 2,4 anos e erro padrão de 0,31 anos. No uso da serra mármore, a mediana é 8,3 anos, com desvio padrão de 2,6 anos e erro padrão de 0,34 anos. No uso da esmerilhadeira, é 2,9 anos, com desvio padrão de 1,0 anos e erro padrão de 0,13 anos, conforme a tabela 22.

Tabela 22 – Dy para todos os grupos

Grupos	Equipamentos	Anos	Erro	Observações
SC-I e SC-II	Serra Circular	11,6 ± 2,4	0,35	Inferior a 15 anos
SM-I	Serra Mármore	8,3 ± 2,6	0,34	Inferior a 10 anos
ES-I e ES-II	Esmerilhadeira	2,9 ± 1,0	0,13	Inferior a 4 anos

Fonte: Autoria própria (2022).

Na tabela 23, apresentou-se o resultado do teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes no Dy o valor de $p=0,05$, para um nível de significância de 5%; rejeitou-se a hipótese nula.

Tabela 23 – Resultado do teste de Kruskal-Wallis para Dy.

Tempo para surgimento da SVMB	Valor-p	Consideração
Dy	0,0	Rejeitou-se a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

Observou-se que há diferença no tempo para surgimento da síndrome dos dedos brancos entre o uso das serras circulares, das serras mármore e das esmerilhadeiras. O uso das esmerilhadeiras para cortar os materiais metálicos apresentou o menor intervalo do aparecimento da SVMB.

O uso da serra mármore para o corte de materiais rochosos teve um intervalo inferior a dez anos para o surgimento da SVMB. No uso da serra circulares no corte dos materiais madeireiros há um intervalo inferior a quinze anos para o surgimento da SVMB.

4.4 Comparação da fixação do adaptador do acelerômetro

Nos grupos SC-I, SC-II e SM-I, analisou-se a distribuição da aceleração total fixando o acelerômetro com 50% com abraçadeiras metálica e 50% com abraçadeiras de poliamida, sendo um total de 80 ensaios, 40 fixados com abraçadeiras metálicas e 40 fixados com abraçadeira de poliamida de 4,6 mm, conforme o quadro 45.

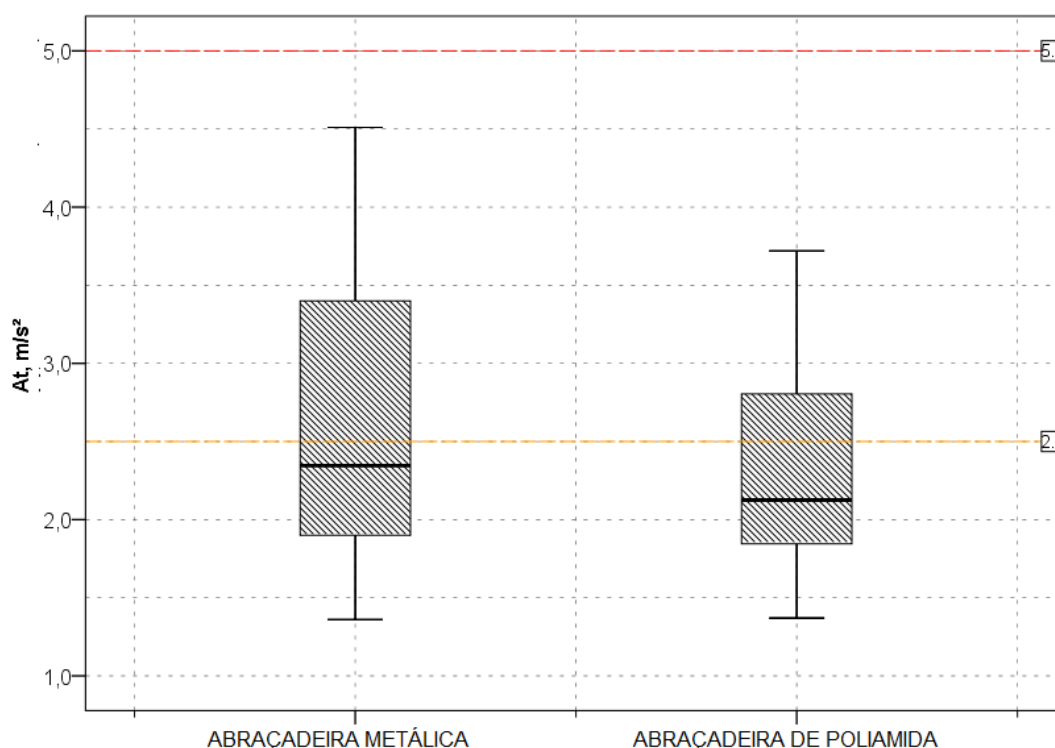
Quadro 45 – Tamanho das amostras da fixação do adaptador acelerômetro

Meio de fixação	Casos
Abraçadeira metálica	40
Abraçadeira de Poliamida	40
Total	80

Fonte: Autoria própria (2022).

A aceleração total do grupo fixado com abraçadeiras metálicas foi estimada em uma mediana de 2,34 m/s^2 , com desvio padrão de 0,84 m/s^2 e erro padrão de 0,13 m/s^2 . No grupo fixado com abraçadeiras de poliamida, encontrou-se uma mediana de 2,12 m/s^2 , desvio padrão de 0,63 m/s^2 e erro padrão de 0,10 m/s^2 , conforme a figura 20.

Figura 20 – Comparação da fixação do adaptador do acelerômetro com abraçadeiras metálicas e abraçadeiras de poliamida



Fonte: Autoria própria (2022).

Analisando a tabela 24, no teste U de Mann-Whitney de amostras independentes, o valor p foi de $p=0,19$, para um nível de significância de 5%; rejeitou-se a hipótese nula.

Tabela 24 – Resultado do teste U de Mann-Whitney: Abraçadeiras metálica e abraçadeiras de poliamida

Meio de fixação	Valor-p	α	Decisão
Abraçadeiras metálica e abraçadeiras de poliamida	0,19	0,05	Rejeitou-se a hipótese nula

Fonte: Autoria própria (2022).

Considerando o resultado do teste U de Mann-Whitney, verificou-se que não há diferença estatística da aceleração total A_t entre os grupos em que se fixou o adaptador com abraçadeiras metálicas e com as abraçadeiras de poliamida (fita Hellermann®).

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões, após a avaliação dos dados obtidos, considerando se as proposições e a hipótese iniciais deste trabalho foram atingidas, além de apresentar as considerações finais.

5.1 Conclusões sobre a VMB no corte dos materiais de construção

Considerando a análise dos dados com o foco nos materiais, concluiu-se que o tipo dos materiais, madeireiros e metálicos, não apresentou evidências que o tipo do material influenciou na VMB. Entretanto, no corte dos materiais rochosos, identificou-se uma sutil diferença do mármore e da ardósia em relação à rocha de arenito. Isto pode ser relacionado com as características das estruturas geológica dos na formação dos materiais rochosos, o arenito é uma rocha sedimentar que resulta da compactação e litificação de um material granular da dimensão das areias, que torna a tarefa de cortar muito fácil. Por outro lado, o mármore é uma rocha metamórfica originada de calcário exposto a altas temperaturas e pressão de baixa a moderada, o que resulta em uma rocha muito resistente ao corte.

Avaliando os dados de VMB, conclui-se que a atividade de corte da madeira, apresentou os menores resultados, com a VMB abaixo do limite de ação. Neste grupo, os valores da aceleração no eixo “x”, “y” da serra circular do fabricante “B” ficaram abaixo dos valores encontrados na serra circular do fabricante “A”. Somente no eixo “z”, os valores da aceleração ponderada apresentaram próximos ao limite da norma, caso seja realizado alguma melhoria este eixo deve-se ter atenção.

No grupo SM-I, utilizando-se a serra mármore, os valores da aceleração nos eixos “x” e “y” da serra mármore do fabricante “A” ficaram abaixo do encontrado na serra circular do fabricante “B”. No eixo “z”, os valores da aceleração ponderada da serra mármore do fabricante “B” ficou acima da serra mármore do fabricante “A”. A aceleração total A_t apresentou valores entre o limite de ação ($2,5 \text{ m/s}^2$) e o limite de tolerância (5 m/s^2) para as ferramentas dos dois tipos.

Nos grupos ES-I e ES-II, utilizando-se as esmerilhadeiras, sem redutor de vibração, concluiu-se que a VMB estava acima do limite de tolerância, sendo que as esmerilhadeiras dos fabricantes “A”, “B” e “C” apresentaram VMB equivalentes; para

esse tipo de equipamento há um risco de os operadores desenvolverem SVMB em menos de 3 anos.

Nos grupos ES-I e ES-II, utilizando-se as esmerilhadeiras, com redutor de vibração, concluiu-se que a VMB estava acima do limite de tolerância, sendo que as esmerilhadeiras dos fabricantes “A”, “B” e “C” apresentaram VMB equivalentes; para esse tipo de equipamento há um risco de os operadores desenvolverem SVMB em menos de 4 anos.

Mesmo com o melhoramento das esmerilhadeiras não se pode afirmar que o problema da VMB está resolvido e que o risco de desenvolver a SVMB está controlado. Sendo, uma ferramenta versátil e muito utilizado, há de se pensar em uma solução de Engenharia, considerando a Ergonomia para adequar este equipamento às normas de VMB.

Comparando os modos de fixação do acelerômetro no adaptador, concluiu-se que a fixação do adaptador na empunhadura da ferramenta pode ser realizada tanto com as abraçadeiras de poliamida quanto com as abraçadeiras metálicas para os grupos ensaiados, SC-I, SM-I e SC-II.

Nos grupos SC-I e SC-II, o surgimento da síndrome dos dedos brancos com o uso da serra circular foi o mais demorado, em torno de 12 anos. No grupo SM-I, a manifestação da SVMB foi de 8 anos.

Nos grupos ES-I e ES-II, utilizando esmerilhadeiras se sem modificações, o surgimento da SVMB foi muito rápido, em torno de 3 anos. Já utilizando esmerilhadeiras com sistema antivibração o tempo para surgimento da SVMB foi de 3,5 anos para o fabricante “B” e de 4,5 anos para os fabricantes “A” e “B”, ou seja, as modificações trouxeram pouco avanço para reduzir a VMB.

Desse modo, no final deste trabalho ressalta-se a importância das avaliações e monitoramentos periódicos da VMB. Uma vez que os trabalhadores estejam expostos à vibração, deve-se adotar medidas para reduzir e mitigar os riscos à saúde e integridade física do trabalhador, para que ninguém desenvolva a Síndrome dos Dedos Brancos e tenha sua capacidade laboral comprometida.

5.2 Recomendações para os empregadores

Ao fim do presente trabalho, recomenda-se aos gestores das empresas pesquisadas:

- aquisição de esmerilhadeiras anti vibração;
- orientação ao empregado sobre os riscos da VMB;
- melhora do processo produtivo, utilização de serras de bancadas para o corte das madeiras e a utilização das guilhotinas hidráulicas para o corte dos metais.

Também, recomenda-se aos fabricantes, que o número de série seja gravado em na caixa de engrenagens, de modo, que este número fique permanente na ferramenta e facilite o rastreamento e controle para manutenção.

5.3 Sugestões para futuras pesquisas sobre VMB

Ao fim do presente trabalho, sugerem-se os seguintes tópicos para futuros trabalhos voltados ao tema demonstrado:

- aplicação da metodologia desenvolvida para ensaiar outros tipos e modelos de ferramentas de corte;
- ampliação do número de amostras para os grupos SC-I, SM-I, SC-II;
- testar as características mecânicas dos materiais e buscar relação com a VMB;
- teste de manoplas com capacidade de absorção do impacto gerado pelo funcionamento da ferramenta para os grupos ES-I e ES-II;
- avaliação da vibração após instalação de manoplas com capacidade de absorção do impacto gerado pelo funcionamento do equipamento;
- desenvolvimento de estudos ao longo do tempo para verificar se o desgaste dos componentes ferramentas influencia a VMB;
- Projeto de sistema anti vibração em esmerilhadeiras que diminua consideravelmente os níveis de vibração durante o processo de corte;
- criação de um banco de dados de VMB no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **O setor brasileiro de rochas ornamentais**. Brasília, 2018. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjorPDK_az3AhWJHbkGHYq3DXUQFnoECAoQAQ&url=http%3A%2F%2Fabirocha.com.br%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F06%2Fabinoticias%2. Acesso em: 20 fev. 2021.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.910**: Ferramentas elétricas portáteis operadas a motor – Segurança: Requisitos particulares para serras-mármore. Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.230**: Ferramentas abrasivas – Uso, manuseio, segurança, classificação e padronização. Rio de Janeiro, 2016.
- ACGIH. American Conference of Government Industrial Hygienists. **Threshold limiting values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices**. Cincinnati, Ohio, USA: Technical Affairs Office ACGIH, 2013.
- ACGIH. American Conference of Government Industrial Hygienists. **Threshold Limit Values (TLV) and Biological Exposure Indices (BEI)**. Cincinnati, Ohio, USA: Technical Affairs Office ACGIH, 2018.
- ADEWUSI, S.; RAKHEJA, S.; MARCOTTE, P. Biomechanical models of the human hand-arm to simulate distributed biodynamic responses for different postures. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Amsterdam, Netherlands, v. 42, n. 2, p. 249-260, 2012.
- ALMEIDA, P. C.; LIMA, K. F.; BETEGA, R. A. Doença de Raynaud como consequência da vibração ocupacional. **Revista Científica Semana Acadêmica**. n. 132, p. 1-36, 19 set. 2018. Disponível em: <https://semanaacademica.com.br/artigo/doenca-de-raynaud-como-consequencia-da-vibracao-ocupacional>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- APTECHNOLOGY INTERNATIONAL B. V. **Catalog 2012**. Oosterhout, Netherlands, 2012.
- BALBINOT, A. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e saúde**. 2001. Dissertation (PhD in Civil Engineering) – University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- BARBOSA, A. A. R. **Implementing a sound power method for testing noise on masonry saw**. 2014. Dissertation (PhD in Civil Engineering) – University of Campinas, Campinas, 2014.
- BOSCH®. **Esmerilhadeiras GWS 2200-180 e GWS 22-180 LVI**. Campinas, 2020. Disponível em: <https://www.bosch-professional.com/br/pt/searchfrontend/?q=Esmerilhadeira%20GWS%202200-180>. Acesso em: 17 mar. 2021.

BOVENZI, M.; FRANZINELLI, A.; STRAMBI, F. Prevalence of vibration-induced white finger and assessment of vibration exposure among travertine workers in Italy. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, Berlin, v. 61, p. 25-34, 1988.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **NR 09 – Avaliação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, Químicos e**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2021a.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **NR 15 – Atividades e operações insalubres**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2021b.

BRÜEL & KJAER. **Measuring Vibration: The Complete Guide**. Lyngby-Taarbæk, Denmark: BK, 1982. Disponível em: <https://www.bksv.com/en/knowledge/blog/vibration/measuring-vibration>. Acesso em: 20 jun. 2021.

CBCA. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Conheça a classificação dos aços estruturais**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/acos-estruturais.php>. Acesso em: 25 nov. 2021.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Segurança e saúde na indústria da construção: prevenção e inovação**. Brasília: CBIC, 2019.

CCOHC. Canadian Centre for Occupational Health e Safety. **Vibration – Health Effects**. Hamilton, ON, Canada: CCOHC, 2019. Disponível em: https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/vibration/vibration_mea-sure.html. Acesso em: 20 set. 2020.

CEC. Casa & Construção. **Esmerilhadeira: entenda o que é e para que serve**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.cec.com.br/blog/esmerilhadeira-entenda-o-que-e-e-para-que-serve?postId=766>. Acesso em: 20 mar. 2022.

CIMM. **Introdução – Crescimento e vantagens do uso do aço na Construção Civil**. Florianópolis, 2015. Disponível em: http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6334#.VdTJSfIVikp. Acesso em: 16 mar. 2021.

CONECTA FG. **Qual a diferença entre Esmerilhadeira, Lixadeira e Politriz?** Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://conectafg.com.br/diferenca-entre-esmerilhadeira-lixadeira-e-politriz/> Acesso em: 20 mar. 2022.

COSTA, N.; AREZES, P. M.; MELO, R.; QUINTAS, C. Exposição ocupacional a vibrações em operadores de máquinas de varejar. *In*: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ACÚSTICA, 8., 1-3 out. 2012, Évora, Portugal. **Anais [...]**. Évora, Portugal: Sociedade Portuguesa de Acústica (SPA) e Sociedade Espanhola de Acústica (SEA), 2012. p. 1-8.

CUNHA, I. de A. da. **Exposição ocupacional à vibração em mãos e braços em marmorarias no município de São Paulo: proposição de procedimento alternativo de medição**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DIEESE. Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos. A Construção Civil e os Trabalhadores: panorama dos anos recentes. **Estudos e Pesquisas**, n. 95, 8 jul. 2020. Disponível em: <https://www.dieese.org.br/estudosepesquisas/2020/estPesq95trabconstrucaocivil.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021

DIN. Deutsches Institut für Normung. **DIN 8580**: Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung. Berlin: Beuth Verlag, 2003.

DINIZ, H. A. G.; RAMOS, J. S.; BRANDÃO, J. C.; ZANETTI, C. S.; DUARTE, M. L. M. Impacto da vibração de mãos e braços sobre o Trabalhador na utilização de lixadeiras. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. 3., 21-25 ago. 2016, Fortaleza, CE. **Anais [...]**. Fortaleza, CE, 2016. p. 1-11.

DONG, R. G.; SINSEL, E. W.; WELCOME, D. E.; WARREN, C.; XU, X. S.; McDOWELL, T. W.; WU, J. Z. Review and Evaluation of HandArm Coordinate Systems for Measuring Vibration Exposure, Biodynamic Responses, and Hand Forces. **Safety and Health at Work**, Ulsan, Republic of Korea, v. 6, n. 3, p. 159-173, 2015.

EC. European Commission. European Parliament and European Council. Directive 2002/44. On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration). 25 June 2002. **Official Journal of the European Communities**. Brussels, L.177/13, 2002.

FLORES, C.; VERGARA, E. F. Exposição do risco ocupacional às vibrações mão-braço na operação de lixadeiras orbitais em marcenarias. **Acústica e Vibrações**, [S. l.], v. 35, n. 52, p. 59–71, 2020. DOI: 10.55753/aev.v35e52.25. Disponível em: https://acustica.emnuvens.com.br/acustica/article/view/aev52_lixadeiras. Acesso em: 1 maio. 2022.

FRASCÁ, M. H. B. O. Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS. 1.; SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE. 2., 28 nov.-1 dez. 2002, Salvador. **Anais [...]**. Salvador; Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p. 128-135.

FRASCÁ, M. H. B. O. Rocha como material de construção. *In*: ISAIA, G. (ed.). **Materiais de Construção e princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. v. 1, 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. p. 437-479.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional: NHO 10: avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços: procedimento técnico**. São Paulo: Fundacentro, 2013.

GEMNE, G.; LUNDSTRÖM, R.; HANSSON, J. Disorders induced by work with hand-held vibrating tools: a review of current knowledge for criteria documentation. **Arbete och Hälsa**, Solna, Sweden, v. 6, p. 1-83, 1997.

GERGES, S. N.Y. Ruído: Fundamentos e Controle. 2ª ed., Florianópolis, 2000.

GERHARDSSON, L., AHLSTRAND, C., ERSSON, P. e GUSTAFSSON, E. Vibration-induced injuries in workers exposed to transient and high frequency vibrations. **J Occup Med Toxicol** 15, 18 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12995-020-00269-w>

GONÇALVES, F. B. **Avaliação da vibração e ruído ocupacionais no fresamento de pisos industriais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

GREGÓRIO, J. M. M. H. **Análise da vibração ocupacional e de ruído na utilização de furadeiras na construção civil**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

GRIFFIN M. J. A comparison of Standardized Methods for Predicting the Hazards of Whole-body Vibration and repeated shocks. **Journal of Sound and Vibration**. v. 215, n. 4, p. 883-914, 27 Aug. 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jsvi.1998.1600>. Acesso em: 17 maio 2021.

GRIFFIN, M. J. **Handbook of Human Vibration**. London: Academic Press, 1996.

GRIFFIN, M. J.; BOVENZI, M. **Protocol for epidemiological studies of hand-transmitted vibration. Risks of Occupational Vibration Exposures**. 2007. Disponível em: <http://www.vibrisks.soton.ac.uk/reports/Annex1%20UoS%20WP11%20HTV%20protocol%20070107.pdf>. Acesso em: 17 maio 2021.

GROOVER, M. **Introdução aos Processos de Fabricação**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

HARRIS-ADAMSON, C., EISEN, E. A., DALE, A. M., EVANOFF, B., HEGMANN, K. T., THIESE, M. S., KAPELLUSCH, J. M., GARG, A., BURT, S., BAO, S., SILVERSTEIN, B., GERR, F., MERLINO, L., & REMPEL, D. (2013). Personal and workplace psychosocial risk factors for carpal tunnel syndrome: a pooled study cohort. **Occupational and environmental medicine**, 70(8), 529–537. <https://doi.org/10.1136/oemed-2013-101365>

HEAVER, C.; GOONETILLEKE, K. S.; FERGUSON, H.; SHIRALKAR, S. Hand-arm vibration syndrome: a common occupational hazard in industrialized countries. **Journal of Hand Surgery (European Volume)**, South Kesteven, v. 36, n. 5, p. 354-63, June 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1753193410396636>. Acesso em: 17 maio 2021.

HEWITT, S.; DONG, R. G.; WELCOME, D. E.; MCDOWELL, T. W. Anti-Vibration Gloves?, **The Annals of Occupational Hygiene**, Volume 59, Issue 2, 1 March 2015, Pages 127–141, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meu089>

HSE. Health and Safety Executive. **Hand-arm vibration at work**. London, 2016. Disponível em: <https://www.hse.gov.uk/vibration/hav/index.htm>. Acesso em: 12 ago. 2018.

HSE. Health and Safety Executive. **Vibration: Employers' responsibilities-legal duties; Vibration Levels**. London, 2019. Disponível em: <https://www.hse.gov.uk/vibration/hav/advicetoemployers/responsibilities.htm>. Acesso em: 12 nov. 2019.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2019**. São Paulo: Ibá, 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2021.

INGLÊS, F.; PEIXE, M.; FRADIQUE, J. Ensaio de comparação interlaboratorial (eci) – vibrações – determinação da exposição de trabalhadores às vibrações. *In*: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ACÚSTICA. 8., 1-3 out. 2012, Évora, Portugal. **Anais [...]**. Évora, 2012. p. 1-14.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Informações sobre madeiras**. São Paulo, 2021. Disponível em: https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=7#. Acesso em: 20 abr. 2021.

IRIART, J. A. B.; OLIVEIRA, R. P. de; XAVIER, S. da S; COSTA, A. M. da S; ARAÚJO, G. R. de; SANTANA, V. S. Representações do trabalho informal e dos riscos à saúde entre trabalhadoras domésticas e trabalhadores da construção civil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 165-174, 2008.

ISO. International Organization for Standardization. ISO 2631-1. **Mechanical Vibration and Shock: Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration. Part 1, General Requirements**. Geneva, Switzerland, 1997.

ISO. International Organization for Standardization. ISO 2631-1: **Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1: General Guidelines**. Geneva, 1978.

ISO. International Organization for Standardization. ISO 5349-1. **Mechanical Vibration – Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration. Part 1: General Guidelines**. Geneva, Switzerland, 2001a.

ISO. International Organization for Standardization. ISO 5349-2. **Mechanical Vibration – Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration - Part 2: Practical Guidance for Measurement at the workplace**, Geneva, Switzerland, 2001b.

ISO. International Organization for Standardization. ISO 8041-1. **Human response to vibration – Measuring instrumentation. Part 1: General purpose vibration meters**. Geneva, Switzerland, 2017.

JAZAR, R. N. **Advanced Vibrations**. New York: Springer Science + Business Media, 2013. Disponível em <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-4160-1>. Acesso em: 20 nov. 2021.

LILJELIND, I.; WAHLSTRÖM, J., NILSSON, L.; PERSSON, M.; NILSSON, T. Can we explain the exposure variability found in hand-arm vibrations when using angle grinders? A round robin laboratory study. **Int Arch Occup Environ Health** 83, 283–290 (2010). <https://doi.org/10.1007/s00420-009-0498-2>.

LILJELIND, I.; PETTERSSON, H.; NILSSON, L.; WAHLSTRÖM, J.; TOOMINGAS, A.; LUNDSTRÖM, R.; BURSTRÖM, L. Determinants Explaining the Variability of Hand-Transmitted Vibration Emissions From Two Different Work Tasks: Grinding and Cutting Using Angle Grinders, **The Annals of Occupational Hygiene**, Volume 57, Issue 8, October 2013, Pages 1065–1077, <https://doi.org/10.1093/annhyg/met020>

MAKITA®. **Catálogo de produtos 2020**. São Bernardo do Campo, 2020. Disponível em: <http://www.makita.com.br/catalogos/>. Acesso em: 20 nov. 2021.

MANSFIELD, N. J. **Human Response to Vibration**. Boca Raton: CRC Press, 2005.

MOREIRA, M. C. **Serramento do aço ABNT 1045 utilizando serras circulares com insertos de metal duro e CERMET**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2011.

MUSEU DE MINERAIS, MINÉRIOS E ROCHAS HEINZ EBERT. **Banco de Dados de Rochas E Minerais**. Disponível em: <https://museuhe.com.br/banco-de-dados/>. Acesso em 10 de junho de 2022.

NACHAR, N. The Mann-Whitney U: A Test for Assessing Whether Two Independent Samples Come from the Same Distribution. **The Quantitative Methods for Psychology**, Montréal, v. 4, n. 1, p. 13-20, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20982/tqmp.04.1.p013>. Acesso em: 25 abr. 2021.

NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. **Musculoskeletal Disorders (MSDs) workplace factors**. A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back. Cincinnati, OH, USA: DHHS (NIOSH), July 1997, Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/97-141/pdfs/97-141.pdf?id=10.26616/NIOSH> Acesso em: 25 abr. 2020.

OLSEN, N. Centrally and locally mediated vasomotor activities in Raynaud's phenomenon. **Scandinavian Journal of Work, Environment & Health**, Helsinki, Finland v. 13, n. 4, p. 309-312, Aug. 1987. Disponível em: https://www.sjweh.fi/show_abstract.php?abstract_id=2047. Acesso em: 17 maio 2021.

PADILHA, R. A.; CATAI, R.C. Análise experimental de vibração ocupacional de mãos e braços na utilização de ferramentas pneumáticas em montadora. **Revista Espacios**, Caracas, Venezuela, v. 38, n. 22, p. 30-42, 2017.

PALMER, K. T.; BOVENZI, M. Rheumatic effects of vibration at work. **Best Practice & Research: Clinical Rheumatology**, Amsterdam, Netherlands, v. 29, n. 3, p. 424-439, June 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.berh.2015.05.001>. Acesso em: 17 maio 2021.

PIETTE, A.; GOMES-FERREIRA, L.; MALCHAIRE, Jacques. Exposition aux vibrations main-bras des meuleuses-influence de la posture et des efforts. **Cahier de médecine du travail**, v. 12, n. 1, p. 47-53, 1995.

RAO, S. **Vibrações Mecânicas**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

RIMELL, A. N.; NOTINI, L.; MANSFIELD, N. J.; EDWARDS, D. J. Variation between manufacturers' declared vibration emission values and those measured under simulated workplace conditions for a range of hand-held power tools typically found

in the construction industry. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Volume 38, Issues 9–10, 2008, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.10.023>.

RODRIGUES, Francisco Carlos. **Steel Framing**: Engenharia. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série do Manual da Construção em Aço).

SALIBA, T. M. **Curso básico de segurança e higiene ocupacional**. São Paulo: LTR, 2004.

SALIBA, T. M. **Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração**. São Paulo: LTR, 2019.

SANTOS, G. A. **Tecnologia dos Materiais Metálicos**. São Paulo: Saraiva, 2015.

SESI. Serviço Social da Indústria. Departamento Nacional. **Segurança e Saúde no Trabalho para a Indústria da Construção**. Brasília: SESI/DN, 2015.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JR., N. J. **Nonparametric statistics for the behavioral sciences**. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1988.

SILVA, S. **Vibrações Mecânicas**: Notas de Aulas – 2^a Versão. Foz do Iguaçu, 2009. Disponível em: <http://www.joinville.ifsc.edu.br/~pauloboni/MECANISMOS/DIN%C3%82MICA%20DE%20M%C3%81QUINAS/Apostila%20-%20Samuel%20da%20Silva%20-%20MUITO%20BOA%20-%20Did%C3%A1tica.pdf>. Acesso em: 17 maio 2021.

SOEIRO, N. S. Vibrações e o corpo humano: uma avaliação ocupacional. *In*: WORKSHOP DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA DA REGIÃO NORTE, 1., ago. 2011, Tucuruí, PA. **Anais [...]**. Tucuruí, 2011. p. 1-10.

SORANSO, Denise Ransolin *et al.* Risk Analysis in a Tropical Forest Wood Exploration and Processing System in Mato Grosso State, Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-10, 2019.

STAYNER, R. M. European Grinder Vibration Test Code: A Critical Review. **Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control**. 1998;17(1):27-34. doi:10.1177/026309239801700103.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de cortes II**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995, 2 ed.

VACCHIANO, I. **Manual prático do mestre de obras**. v. 4, 4. ed., rev. e ampl. Campo Grande, 2015.

VENDRAME, A. C. **Vibrações Ocupacionais**. São Paulo, 2005. Disponível em: http://www.portalsegsst.com.br/admin/downloads/kbehbo_x_vibracoes_vendrame.pdf. Acesso em: 17 mar. 2021.

WEIR, E; LANDER, L. Hand–arm vibration syndrome. **CMAJ**. Apr 2005, 172 (8) 1001-1002; DOI: 10.1503/cmaj.045314.

WELCOME, D. E.; DONG, R. G.; XU, X. S.; WARREM, C.; MCDOWELL, T. W.; WU, J. Z. An examination of the vibration transmissibility of the hand-arm system in three orthogonal directions. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Amsterdam,

Netherlands, v. 45, p. 21-34, Feb. 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2014.11.001>. Acesso em: 17 mar. 2021.

XIMENES, G. M. **Gestão ocupacional da vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança**. 2006. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:
http://bom.org.br:8080/jspui/bitstream/123456789/1425/1/Ximenes_2006.pdf. Acesso em: 05 mar. 2021.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 5th ed. New Jersey: Pearson Education, 2009.

ZENID, G. J. **Madeira na construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2011.