



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica

Rafael Brito Solane

ANÁLISE DA VIBRAÇÃO E RUÍDO EM UMA
DERRIÇADORA MANUAL DE CAFÉ E AVALIAÇÃO DE
UMA MANOPLA ABSORVEDORA

Bauru

2019

Rafael Brito Solane

ANÁLISE DA VIBRAÇÃO E RUÍDO EM UMA
DERRIÇADORA MANUAL DE CAFÉ E AVALIAÇÃO DE
UMA MANOPLA ABSORVEDORA

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica na Área de Projeto Mecânico, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Edson Antonio Capello Souza

Bauru

2019

Solane, Rafael Brito.

ANÁLISE DA VIBRAÇÃO E RUÍDO EM UMA DERRIÇADORA
MANUAL DE CAFÉ E AVALIAÇÃO DE UMA MANOPLA ABSORVEDORA

Rafael Brito Solane, 2019

77 f. : il.

Orientador: João Eduardo Guarnetti dos Santos

Coorientador: Edson Antonio Capello Souza

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2019

1. Vibração. 2. Ergonomia.
3. Derrichadora Manual. I. Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia. II.
Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE RAFAEL BRITO SOLANE, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 31 dias do mês de maio do ano de 2019, às 09:00 horas, no(a) Anfiteatro do DTI/FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. JOAO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. EDUARDO CARLOS BIANCHI do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO POLETTTO FILHO do(a) - / Faculdade de Tecnologia de Garça., sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de RAFAEL BRITO SOLANE, intitulada **ANÁLISE DA VIBRAÇÃO E RUÍDO EM UMA DERRIÇADORA MANUAL DE CAFÉ E AVALIAÇÃO DE UMA MANOPLA ABSORVEDORA**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: A. PROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. JOAO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS

Prof. Dr. EDUARDO CARLOS BIANCHI

Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO POLETTTO FILHO

Este trabalho é dedicado a todas as pessoas que por algum motivo não tiveram a mesma oportunidade de estudo que a mim foi conferida. Mais do que um título recebo a partir deste trabalho uma responsabilidade social com todas essas pessoas.

Agradecimentos

Em primeiro lugar e sempre, quero agradecer Aquele(a) Que É Todas as Coisas, a Fonte de tudo, tudo que é vida - e a própria vida.

Aos mestres espirituais, que incluem os santos e sábios de todas as religiões.

À minha mãe, Maria João, a qual tenho enorme admiração pela força de superação e muito amor.

Ao meu pai, João Carlos (em lembrança), que apesar de não ter recordações, levo-o sempre no meu coração e sangue.

À minha avó, "Vó Beta", que com fala mansa e doce, ajudou e muito em minha criação.

Ao meu avô (em lembrança), Vô Brito, que foi meu exemplo de homem e pai, foi com ele que aprendi a fazer minha primeira pipa, ou papagaio para alguns (rsrsrsrs).

Ao tio Decko, o qual sempre admirei sua capacidade de assimilação e tenho como exemplo de determinação.

Não menos importante, quero agradecer também as minhas duas irmãs, Letícia e Ana Carolina, as quais tenho profundo amor e respeito.

À minha namorada Alana pela compreensão, paciência e apoio durante mais esta etapa, obrigado pelas palavras de carinho e conforto.

Ao meu orientador João Eduardo Guarnetti dos Santos, que aceitou me conduzir no desenvolvimento este trabalho. Agradeço a confiança e sabedoria a mim transmitida.

Aos professores e funcionários da Universidade Estadual Paulista (UNESP - FEB) em especial a servidora Ana Carolina Cazani, por todo o esforço despendido para que este trabalho pudesse se concretizar.

Por fim quero agradecer a todos os cidadãos pagantes de impostos, por financiarem a existência dessa e todas as outras universidades publicas do país.

Resumo

SOLANE, R. B., ANÁLISE DA VIBRAÇÃO E RUÍDO EM UMA DERRIÇADORA MANUAL DE CAFÉ E AVALIAÇÃO DE UMA MANOPLA ABSORVEDORA, Bauru: Faculdade de Engenharia, UNESP - Universidade Estadual Paulista, 2019, 77 p., Dissertação (Mestrado).

A mecanização na agricultura é um viés para os pequenos e médios produtores se manterem na atividade e atenderem a demanda. As derriçadoras têm se mostrado de suma importância na colheita do café, no entanto os fenômenos mecânicos, ruído e vibração, atrelados a essa tecnologia vem despertando a preocupação com a saúde ocupacional dos operadores dessas máquinas. O presente trabalho teve como objetivo analisar os níveis de vibração e ruídos em uma derriçadora de café e a partir dos resultados, desenvolveu-se um elemento isolador de vibração. A metodologia utilizada abordou experimentações em campo, avaliações estatísticas e técnicas onde utilizou-se as normas vigentes NHO10 (2013) para avaliação da vibração e a NR15 (2018) para a avaliação dos níveis de ruídos. Os resultados obtidos mostram que os operadores de derriçadoras estão sujeitos a níveis elevados, de vibração e ruído. Para a condição de plena carga os níveis ultrapassaram os $93\text{ dB}(A)$, impossibilitando o operador de cumprir a jornada normal de 8 h diária. Para a vibração, as acelerações resultantes só atenderam ao que preconiza as normas, operando a derriçadora em marcha lenta, no entanto a utilização da manopla absorvedora, permite ao operador um maior tempo de exposição, em função da diminuição significativa dos níveis de aceleração.

Palavras-chave: vibração. ergonomia. derriçadora manual.

Abstract

SOLANE, R. B., ANALYSIS OF VIBRATION AND NOISE IN A COFFEE HARVESTER PORTABLE AND EVALUATION OF AN ISOLATOR HANDLE, Faculty of Engineering, UNESP - São Paulo State University, 2019, 78 p., Dissertation (Master degree).

Mechanization in agriculture is a bias for small and medium producers to stay in business and meet demand. The harvester have been shown to be of great importance in the coffee harvesting. However, mechanical phenomena, noise and vibration, coupled with this technology, have aroused concern with the occupational health of the operators of these machines. The present work had as objective to analyze the vibration and noise levels in a coffee harvester portable and from the results, a vibration isolation element was developed. The methodology used included field trials, statistical and technical evaluations using NHO 10 (2013) for vibration evaluation and NR 15 (2014) for the evaluation of noise levels. The results show that the operators of portable harvester are subject to high levels of vibration and noise. For the full load condition, the levels exceeded 93 $dB(A)$, making it impossible for the operator to complete the normal 8 h daily schedule. For the vibration, the weighted accelerations only complied with the norms, operating the throttle at idle, however the use of the absorber handle, allows the operator a longer exposure time, due to the significant decrease of the levels of acceleration.

Keywords: vibration. ergonomics. harvest portable coffee.

Lista de Figuras

2.1	Derriçadora tipicamente utilizados na olivicultura	7
2.2	Derriçadora pneumática acionada por gerador	8
2.3	Derriçadora pneumática acionada por gerador	8
2.4	Derriçadora elétrica para colheita de azeitona	9
2.5	Derriçadora à combustão para colheita de café	9
2.6	Parâmetros relacionados a vibração	13
2.7	Exemplos de magnitudes de vibração para ferramentas comuns	17
2.8	Limiar de audição	21
2.9	Curva de ponderação	22
2.10	Curva de ponderação em frequência W_h para vibrações em mãos e braços.	23
2.11	Orientação dos eixos para medição da vibração em mãos e braços	24
3.1	Derriçadora manual de café	27
3.2	Conjunto para aquisição de dados de vibração	28
3.3	Dosímetro	28
3.4	Montagem do tacômetro	29
3.5	Dimensões e pontos de instrumentação	32
3.6	Derriçadora instrumentada	32
3.7	Manopla absorvedora - Vista explodida	34
3.8	Elemento amortecedor	34
3.9	Manopla instrumentada	35
4.1	Acelerações médias para condição de marcha lenta	40
4.2	Pico das acelerações para condição de marcha lenta	41
4.3	Acelerações médias para condição de plena carga	42

4.4	Pico das acelerações para condição de plena carga	43
4.5	Tempo máximos de exposição para as ponteiras ensaiadas	44
4.6	Acelerações médias para condição de marcha lenta	45
4.7	Pico de acelerações para condição de marcha lenta	46
4.8	Acelerações médias para condição de plena carga	47
4.9	Pico de acelerações para condição de plena carga	47
4.10	Tempo máximos de exposição para as ponteiras ensaiadas	49
4.11	Acelerações médias para condição de plena carga	50
4.12	Pico de acelerações médias para condição de plena	51
4.13	Comparativo entre Manopla Absorvedora e Empunhadura traseira	52

Lista de Tabelas

2.1	Critério de julgamento e tomada de decisão resumido	20
2.2	Faixas de Frequências	21
2.3	Critério de julgamento e tomada de decisão	25
3.1	Condições estabelecidas para os ensaios	31
3.2	Condições estabelecidas para os ensaios com a manopla absorvedora . . .	36
4.1	Dose de ruído para os ensaios	39
4.2	Estimativa do tempo D_y	43
4.3	Estimativa do tempo para surgimento de sintomas	48
4.4	Comparativo: Manopla empunhadura traseira x Empunhadura traseira .	49
4.5	Comparativo: Manopla empunhadura traseira x Empunhadura traseira .	52
A.1	Valores obtidos para a condição EC A PC	63
A.2	Valores obtidos para a condição EC A ML	64
A.3	Valores obtidos para a condição EC B PC	64
A.4	Valores obtidos para a condição EC B ML	65
A.5	Valores obtidos para a condição EC C PC	65
A.6	Valores obtidos para a condição EC C ML	66
A.7	Valores obtidos para a condição EC D PC	66
A.8	Valores obtidos para a condição EC D ML	67
A.9	Valores obtidos para a condição EC SP PC	67
A.10	Valores obtidos para a condição EC SP ML	68
A.11	Valores obtidos para a condição ET A PC	68
A.12	Valores obtidos para a condição ET A ML	69
A.13	Valores obtidos para a condição ET B PC	69

A.14 Valores obtidos para a condição ET B ML	70
A.15 Valores obtidos para a condição ET C PC	70
A.16 Valores obtidos para a condição ET C ML	71
A.17 Valores obtidos para a condição ET D PC	71
A.18 Valores obtidos para a condição ET D ML	72
A.19 Valores obtidos para a condição ET SP PC	72
A.20 Valores obtidos para a condição ET SP ML	73
A.21 Valores obtidos para a condição MET A PC	73
A.22 Valores obtidos para a condição MET A ML	74
A.23 Valores obtidos para a condição MET B PC	74
A.24 Valores obtidos para a condição MET B ML	75
A.25 Valores obtidos para a condição MET C PC	75
A.26 Valores obtidos para a condição MET C ML	76
A.27 Valores obtidos para a condição MET D PC	76
A.28 Valores obtidos para a condição MET D ML	77

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	3
1.2	Objetivos	4
1.3	Estrutura da Dissertação	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Mecanização na Cafeicultura	5
2.2	Projetos Mecânicos	10
2.3	Saúde Ocupacional	16
3	AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL	26
3.1	Equipamentos	26
3.2	Procedimento e coleta de dados	29
3.3	Metodologia de análise	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	Ruído	38
4.2	Vibração	40
5	CONCLUSÕES	54
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
	APÊNDICES	63

A	Dados Estatísticos	63
A.1	Empunhadura central	63
A.2	Empunhadura traseira	68
A.3	Manopla Absorvedora	73

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Uma das mercadorias mais negociadas no mundo, o café é produzido em mais de 50 países em cerca de 10,5 milhões de hectares, cuja produção mundial em 2018 chegou a 160 milhões de sacas de 60 *kg*, a qual o Brasil é responsável por aproximadamente 32% dessa produção (EMBRAPA, 2018).

Atualmente, 80 % do café produzido no mundo é oriundo da cafeicultura de montanha. Matiello *et al.* (2005) dizem que grande parte das áreas cafeeiras ainda são colhidas manualmente, principalmente quando se trata de regiões com declividades superiores a 20 %. No Brasil esse tipo de cultivo representa cerca de 40% da produção cafeeira, apesar do país apresentar a maior área mecanizada do mundo, a cafeicultura de montanha abrange 1,5 *bilhões* de cafeeiro (SOUZA; QUEIROZ; RAFULL, 2006; ROMERO, 2013)

A complexidade e alto custo agregado ao processo de colheita manual do café, faz com que a mecanização, tanto por meio de máquinas manuais, quanto por meio de máquinas automotrizes sejam inseridas em todas as etapas do cultivo do café, até mesmo em regiões montanhosas onde a colheita se torna ainda mais difícil.

Arelado ao desenvolvimento de tecnologia para o processo de colheita, estão os números de acidentes e doenças ocupacionais, o que gera preocupação com os operadores expostos. Bernardino Ramazzini, foi o pioneiro na medicina do trabalho, o que deu origem com o passar dos anos a um vasto campo de pesquisa, denominado Ergonomia.

As primeiras preocupações com a saúde dos operadores foram publicadas por volta de 1700 por Bernardino Ramazzini, o qual sugere duas causas principais que afetam a saúde do operador: a primeira é a exposição em ambientes nocivos, cujo a inalação afeta

o organismo; a segunda é a violência que se faz ao corpo humano com posições forçadas e não ergonômicas, cujo a exposição constante produz grave enfermidade (RAMAZZINI, 2016).

Restringindo o tema à violência contra o corpo humano, tem-se duas principais variáveis, cujo a exposição sem controle leva a prejuízos, são elas : o ruído e a vibração.

Por se tratar de uma variável que causa desconforto quase que instantâneo, o ruído é um dos itens mais avaliados em trabalhos relacionados a ergonomia. Em derrigadoras manuais, Souza *et al.* (2005) e Cunha, Fernandes e Barbosa (2002) apresentaram níveis de ruído que extrapolam o que é estabelecido pela Norma NB 95 (NBR 10152:1987) e pela NR-15 (CLT), sendo 85 *dB(A)* para uma exposição de 8h diária, com o mínimo de conforto acústico para o operador.

Franks, Merry *et al.* (1996) dizem que a perda auditiva é um dos problemas de saúde ocupacional mais emergentes na América. Aproximadamente 30 *milhões* de operadores estão expostos aos efeitos dos ruídos em seus postos de trabalho.

Em muitos estudos a variável vibração é tratada apenas sob o ponto de vista de rendimento do equipamento, porém quando a vibração é transmitida ao corpo humano, pode contribuir para o desenvolvimento de doenças ocupacionais, as quais envolvem o sistema vascular, neurológico e musculoesquelético. Os efeitos sobre o corpo humano dependem principalmente, da frequência; magnitude; direção; área de contato; tempo de exposição (contínuas ou intermitentes); magnitude e direção da força aplicada pelo operador ao manusear a ferramenta; posição das mãos e braços e locais expostos a vibração (GRIFFIN, 1990; MANSFIELD, 2004).

Num relatório lançado pela *European Agency for Safety and Health at Work*, cerca de 24% de todos os trabalhadores da União Europeia afirmam estar expostos a vibração no trabalho por pelo menos um quarto da jornada de trabalho. Os setores com mais exposição são: construção civil (63%), indústrias manufatureira e mineradoras (44%), agricultura e pesca (38%), energético e abastecimento de água (34%) e transporte e comunicação (23%). A exposição é principalmente explicada pelo número crescente de ferramentas manuais motorizadas, sendo aproximadamente 5 *milhões* em uso na Alemanha e 300.000 na Finlândia (MILCZAREK; SCHNEIDER; GONZÁLEZ, 2009). No Brasil não se tem ao certo o número de ferramentas manuais em operação, no entanto

sabe-se que com o advento da tecnologia esse numero tende a crescer.

A carência de estudos quanto aos limites de exposição, dose—resposta, efeitos sobre o corpo humano, bem como a resposta do corpo a estes estímulos são objetos de discussão por parte de instituições e profissionais na área de ergonomia. Isso se deve a interpretação e aplicação das principais normas e critérios técnicos tanto para as vibrações em corpo inteiro como para a vibração em mãos e braços (GRIFFIN, 1990).

Na maioria das situações em que o operador está suscetível aos efeitos da vibração transmitida para o sistema mãos e braços, a exposição deve ser quantificada e comparada com as atuais legislações em vigor. No entanto, para todo caso deve-se reduzir ao máximo praticável, de forma a obter valores aceitáveis. O termo aceitável é um conceito em constante alteração, a melhor compreensão dos mecanismos de danos e tecnologia de atenuação da vibração, fazem com que o termo seja relativo em diferentes países. Há duas maneiras de reduzir a exposição à vibração: otimizando a ferramenta ou o processo de trabalho. (MANSFIELD, 2004)

1.1 Justificativa

Com intuito de minimizar o tempo gasto na colheita e aumentar a qualidade do produto colhido, a utilização de ferramentas manuais motorizadas é indispensável e atrelado a esse aumento, tem-se os fenômenos mecânicos tais como vibração e ruídos inerentes do processo de funcionamento dos equipamentos.

Saha e Kalra (2016) em uma revisão sistêmica sobre a transmissibilidade de vibração por ferramentas acionadas para o sistemas mãos e braços, menciona que os trabalhos devem ser direcionados para o desenvolvimento de parâmetros a fim de reduzir a transmissibilidade da vibração e o limite de exposição.

Embora os mecanismos causadores de distúrbios não estejam claros, justifica-se a avaliação dos níveis de vibração e ruído gerados em derriçadoras, como forma de embasamento para o desenvolvimento de um dispositivo capaz de isolar o operador dos efeitos gerados pelo equipamento e com isso contribuir para a prevenção de doenças ocupacionais.

1.2 Objetivos

No atual cenário da cafeicultura, onde há o uso de ferramentas manuais motorizadas a fim de viabilizar o cultivo de café, seja por pequenos produtores e ou regiões montanhosas, nota-se os efeitos da vibração e ruído gerados por tais ferramentas, o que de fato acaba comprometendo a saúde do operador.

Nisso se baseia a definição do objetivo geral deste trabalho como:

- Desenvolver um dispositivo para minimizar a transferência de vibrações do equipamento para o operador.

Como objetivos específicos tem-se:

- Avaliar os níveis de ruído e vibração em uma derriçadora manual de café;
- Realizar o cruzamento das análises com as normas vigentes no país;
- Propor variações de projetos que impliquem na redução da vibração;
- Com base na literatura estudada propor melhorias de projetos que impliquem na diminuição dos níveis de ruído.

1.3 Estrutura da Dissertação

O trabalho está estruturado a partir de uma introdução sobre a cultivo do café e seu processo de colheita, expondo a mecanização agrícola como alternativa aos pequenos produtores. O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica, abordando-se a evolução da mecanização na agricultura e os tipos de ferramentas manuais motorizadas que vêm sendo utilizadas ao passar dos anos. Os fundamentos de projetos de máquinas são abordados mostrando os aspectos mais relevantes. No terceiro capítulo é descrita a avaliação experimental e a metodologia, apresentando todas as considerações utilizadas. No capítulo 4 são abordados as discussões a cerca dos resultados obtidos. Por fim, as considerações finais apresentam uma breve discussão acerca dos objetivos estabelecidos como ponto de partida para a efetivação do presente estudo.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mecanização na Cafeicultura

A mecanização agrícola no Brasil se deu entre a década de 60 e 70, porém no cultivo do café a mecanização só tomou força em meados dos anos 90 com a intensificação da colheita do café por meio de máquinas que utilizavam o método de vibração mecânica, ou seja, transferência de energia mecânica (FAYA *et al.*, 1979). O motivo da aplicação tardia é atribuído aos altos danos causados a lavoura, fato que com o avanço da tecnologia melhorou significativamente a qualidade do café colhido, aumentando assim a mecanização em diversas etapas do cultivo de café (ORTEGA; JESUS; MOURO, 2009).

De acordo com SILVA (2008) a mecanização na etapa de colheita é um fator importante na redução do custo de produção do café, e essa estratégia está se difundindo rapidamente, principalmente em lavouras mais recentes, cujo sistema de plantio já prevê o tráfego de máquinas. Sales (2011) também confirma a importância da mecanização e acrescenta que é um processo fundamental e irreversível.

Srivastava *et al.* (1993) expõe que a colheita de frutos em árvores exige a transferência de quantidades relativamente grande de energia para a estrutura da mesma. Ciro (2001) cita que conhecendo o comportamento dinâmico do sistema fruto-pedúnculo é possível combinar níveis de amplitude, frequência e tempo de excitação para atingir um grau de seletividade na colheita ou realizar a colheita total dos frutos.

A colheita do café mecanizada utilizando implementos convencionais acoplados a tratores ou colhedoras automotrizes, só é possível de ser aplicada em regiões com decli-

vidade de até 20%, portanto o complemento com o serviço braçal mostra-se necessário em regiões montanhosas (ORTEGA; JESUS; MOURO, 2009).

Garcia e Fioravante (2002) realizaram um ensaio de colheita mecanizada e no ano seguinte através das análises das produções notaram que não houveram prejuízos na safra. Barbosa, Salvador e Silva (2005) num estudo de desempenho em derriçadoras portáteis, concluíram que a derriça mecanizada apresentou níveis de desempenho superiores a derriça manual, atribuindo ainda os melhores resultados a equipamentos com frequência superior a 50 Hz , e lavouras com densidade de ramos menores.

Níveis de desempenho maiores para a colheita seletivas são verificados quando se empregam duas máquinas simultaneamente, em uma mesma linha de plantio, afirmam Souza, Queiroz e Rafull (2006).

2.1.1 Derriçadoras Portáteis

Ao longo dos anos foram desenvolvidos vários tipos de equipamentos, porém poucos foram utilizados em larga escala devido a dificuldade de selecionar e colher apenas os grãos maduros. Os equipamentos existentes derivam do setor de olivicultura, cujo preocupação é aumentar a produtividade, ergonomia e segurança operacional das derriçadoras (BONAIUTI; CINI; PEGNA, 2008). A Figura 2.1 mostra um equipamento tipicamente utilizado na derriça de azeitonas.

Conhecidas por mão mecânica, pente mecânico ou simplesmente derriçadora portátil, o equipamento recebe vários nomes, no entanto, sua função é basicamente a mesma, ou seja, colher grãos de café, ou similares. Este tipo de equipamento é muito utilizado e vem substituindo a colheita manual em regiões cujo terreno apresenta bastante irregularidades e com grande declividade.

As derriçadoras portáteis são equipamentos compostos por haste, "dedos vibratórios", e são acionadas por fontes de potência, pneumática, elétrica ou por combustão interna, sendo normalmente acima de 1 *cv* para os equipamentos pneumáticos e por combustão interna e 0,5 *cv* para os motores elétricos (PORTO, 1996; CARVALHO *et al.*, 2000; BARBOSA; SALVADOR; SILVA, 2005).

As derriçadoras pneumáticas (Figura 2.2 e Figura 2.3) são compostas por um com-

Figura 2.1: Derrigadora tipicamente utilizados na olivicultura



Fonte: Talleres Corbins (2019)

pressor de ar, um pulmão armazenador, uma haste e um conjunto de dedos vibratórios (ponteira). O acionamento do compressor é normalmente realizado através da tomada de potência do trator (TDP) ou feita por um motor próprio. É possível acionar até 4 derrigadoras, onde o acionamento é feito através de mangueiras flexíveis que direcionam o ar do pulmão de armazenamento, fazendo com que os dedos vibrem.

Partindo do mesmo princípio de funcionamento das derrigadoras pneumáticas, porém com o acionamento feito por meio de um motor a combustão (2 tempos) ou elétrico, as derrigadoras motorizadas chegam a ter um potência em torno de 0,5 a 1 *cv*. O mais comum em derrigadoras a combustão (Figura 2.5), é ter um reservatório de combustível, com capacidade de 0,5 *litros* e haste geralmente com 1 a 2 *m* de comprimento. Já as derrigadoras elétricas possuem uma bateria e são acionados por motores elétricos (Figura 2.4).

Figura 2.2: Derrigadora pneumática acionada por gerador



Fonte: Bonaiuti, Cini e Pegna (2008)

Figura 2.3: Derrigadora pneumática acionada por gerador



Fonte: Bonaiuti, Cini e Pegna (2008)

Figura 2.4: Derriçadora elétrica para colheita de azeitona



Fonte: Makita (2019)

Figura 2.5: Derriçadora à combustão para colheita de café



Fonte: Nipo Santo Amaro (2019)

Para executar a derriça dos grãos do cafeeiro o operador manuseia o equipamento em movimentos contínuos penteando os ramos, tentando sempre executar a derriça de cima para baixo, comportamento esse que minimiza os danos ao cafeeiro. A aceleração do motor deve ser intermitente, ou seja, deve haver uma variação da rotação de forma a melhorar eficiência da lubrificação nos motores 2 tempos (MESQUITA *et al.*, 2016).

2.2 Projetos Mecânicos

Uma análise metodológica de um problema de controle de vibração e ruído envolve três estágios. O primeiro consiste em analisar o problema e apontar as fontes emissoras, delimitando o problema com restrições viáveis. Já o segundo consiste na avaliação técnica e econômica a fim de determinar o melhor custo benefício, respeitando os requisitos técnicos. Finalmente as recomendações técnicas são feitas, tais como : modificação da fonte, isolamento de vibrações, instalação de barreiras dentre outras (NORTON; KARCZUB, 2003).

Aspectos ergonômicos tem sido importantes na escolha de ferramentas pelos compradores, principalmente os níveis de emissão de vibrações e conforto. Isso é resultado do aumento no volume de legislação na área (MANSFIELD, 2004). Vink, Koningsveld e Molenbroek (2006) citam que a satisfação dos usuários é baseada no conforto, portanto a ferramenta deve ser adaptada as características dos seres humanos.

O projeto de mecanismo para isolar a vibração tem suas especificações baseadas na resposta dinâmica, ou seja, o comportamento do sistema deve ser conhecido de forma a permitir aos projetistas a seleção da peça, material e geometria do componente (GRIF-FIN, 1990).

Além disso, outros fatores influenciam na vibração que é transmitida ao sistema mãos e braços, são eles: força de aperto; ângulo do cotovelo; frequência de ressonância e diâmetro da empunhadura. Portanto, todas essas variáveis devem ser consideradas para desenvolvimento de técnicas de manuseio, projetos de ferramentas e estações de trabalho adequadas (SAHA; KALRA, 2016).

Griffin (1990) cita que as frequências baixas não são absorvidas localmente, ou seja, na mão, tais frequências produzem grandes deslocamentos e podem limitar o uso de algumas ferramentas. Já as frequências superiores a 1 kHz são mais fáceis de serem neutralizadas dentro da ferramenta ou com auxilio de sistemas que absorvam essa vibração, evitando qualquer tipo de dano.

Stellman (1998) menciona duas técnicas para reduzir a transmissibilidade de vibração de ferramentas. A primeira é projetar ferramentas com mecanismos de amortecimento. Já a segunda sugere a utilização de luvas antivibração ou alças de absorção. No entanto

a segunda técnica tem gerado um pouco de conflito por parte dos pesquisadores. Alguns pesquisadores relataram atenuação significativa da vibração utilizando luvas anti-vibração ((GOEL; RIM, 1987); (HUTTON; PARIS; BRUBAKER, 1993)), enquanto outros relataram nenhuma ou pouca mudanças ((GURRAM; RAKHEJA; GOUW, 1994)), havendo até um aumento na transmissibilidade em alguns casos ((GRIFFIN, 1998); (RENS; DUBRULLE; MALCHAIRE, 1987)).

2.2.1 Ergonomia

O projeto de ferramentas manuais visando também aspectos ergonômicos, podem prevenir ou atenuar os riscos a saúde dos trabalhadores e ainda minimizar impactos negativos às empresas, como queda de produtividade, aumento de custos e indenizações (PAVANI, 2007). A produtividade está associada ao conforto, ou seja, os efeitos de desconforto tais como músculos doloridos e pressão sobre a mão, impossibilitam o término da tarefa (KUIJT-EVERS *et al.*, 2004).

IIDA (2012) sugere que o centro de gravidade da ferramenta deve situar-se o mais próximo possível do centro da mão. Isso, além de permitir um melhor controle motor, reduz o momento de inércia, e consequentemente, os esforços musculares e os gastos energéticos durante a sua operação.

Pyykkö *et al.* (1976) relata em seu trabalho que a transmissibilidade varia conforme a raiz cúbica da força de preensão manual. Já Aatola (1989) relata que a transmissibilidade de vibração para o pulso é linearmente dependente da força de preensão manual.

Em geral, ferramentas devem pesar o mínimo possível. Particularmente para tarefas de precisão, uma ferramenta mais leve requer menos grupamentos musculares para manusear, diferente de ferramentas como, martelos, machados e serras, que exigem mais força para suportar a ferramenta. Para reduzir a fadiga recomenda-se que a massa da ferramenta não seja maior que 2,3 kg (KUMAR, 2007).

2.2.2 Vibrações Mecânicas

A vibração é um fenômeno presente em grande parte das atividades humanas. A audição só é possível pelo fato dos tímpanos vibrarem, a oscilação das ondas de luz,

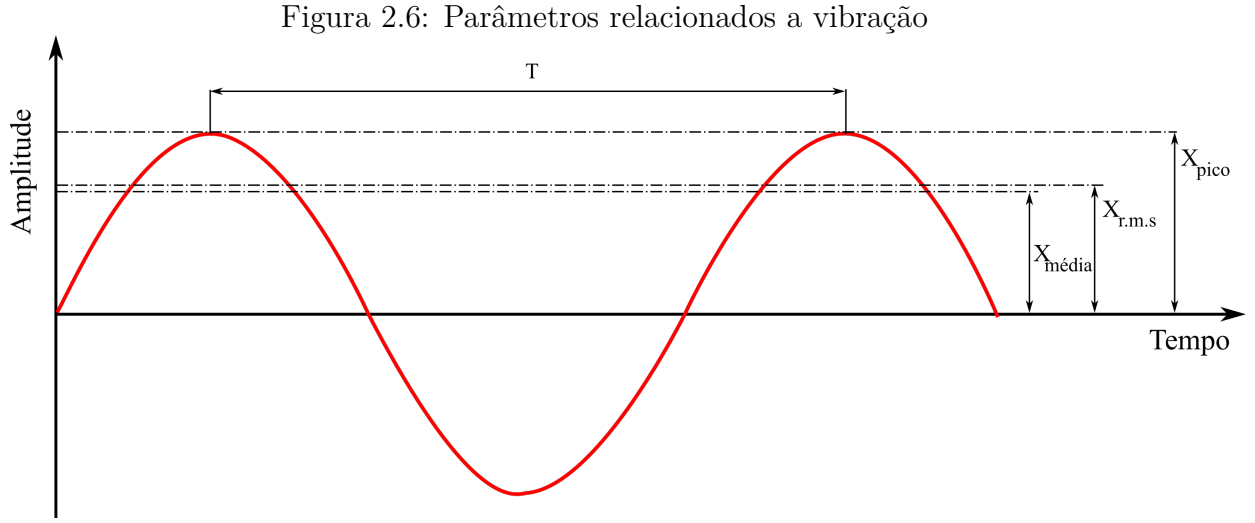
permitem ao seres vivos enxergarem. O movimento das cordas vocais tornam possível a geração de som. A caminhada está associada ao movimento oscilatório das pernas e braços, da mesma forma a respiração está associada a vibração dos pulmões. Na indústria a vibração está presente desde grandes projetos de máquinas até o desenvolvimento de pequenos sensores (RAO, 2009).

O comportamento oscilatório descrito por um sistema mecânico é definido basicamente pela frequência e amplitude. O numero de ciclos por unidade de tempo é denominado frequência de oscilação. Um sistema sob uma perturbação inicial continua vibrando por si só, sem ação de forças externas, a frequência com que ele oscila é denominado de frequência natural. Em sistemas complexos, podem haver n frequências naturais de vibração distintas. Quando a relação de frequência de excitação e frequência natural assumem valores iguais ou inferiores a $\sqrt{2}$, o sistema de amortecimento não é efetivo, podendo assumir a condição de ressonância, cujo resultado pode ser catastrófico. Já a magnitude em termos de amplitude, representa o máximo valor de um corpo oscilante em relação a sua posição de equilíbrio (RAO, 2009).

A vibração encontrada no dia a dia muitas vezes não apresentam um padrão regular (senoidal) e sim uma combinação de diversas grandezas senoidais, cuja as frequências e amplitudes podem ser diferentes. Sendo essas frequências múltiplas entre si e com repetição ao longo do tempo o comportamento é denominado periódico, uma vez que o valor da vibração em qualquer instante futuro é completamente previsto. Caso contrário tem-se excitação do tipo aleatório, ou seja, o valor futuro é imprevisível, ao menos que se utilize métodos estatísticos para determinar probabilidade de ocorrência (HARRIS, 2002a).

Durante a análise de fenômenos oscilatórios é comum expressar os dados de pico, pico a pico e *root mean square* (r.m.s). O valor de pico representa a máxima aceleração num período de tempo e valores altos podem ter um forte potencial destrutivo, já os valores de pico a pico expressam a distância do valor máximo e mínimo e fornecem uma verificação da validade dos dados de baixa frequência (GRIFFIN, 1990). Ximenes (2006) cita a medida r.m.s com sendo a mais relevante, pois mostra a média da energia contida no movimento e é capaz de expressar o potencial destrutivo da vibração. A Figura 2.6 traz a representação gráfica de um sinal de vibração harmônica com indicação do pico,

do r.m.s. e do valor médio absoluto.



Fonte: Adaptado de Broch (1984)

A amplitude média, bem como a média quadrática das amplitudes são expressadas matematicamente pela Equação 2.1 e Equação 2.2 respectivamente, onde T é o período e $x(t)$ é a amplitude da aceleração instantânea num dado tempo.

$$X_{média} = \frac{1}{T} \int_0^T |x| dt \quad (2.1)$$

$$X_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (2.2)$$

Para um movimento harmônico, a relação entre parâmetros é dado pela Equação 2.3.

$$X_{r.m.s.} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} X_{média} = \frac{1}{\sqrt{2}} X_{pico} \quad (2.3)$$

Griffin (1990) menciona que os choques de baixa frequência estão associados a lesões em ossos e articulações, no entanto não há evidências. O autor ainda menciona que o uso de valores r.m.s não levam esse fato em consideração, dessa forma a média das acelerações ponderadas, fornecem uma estimativa média da gravidade dos choques, porém a falta de evidência faz com que a média seja comumente utilizada.

Gierke e Brammer (2002) enfatiza que os sistemas biológicos podem ser afetados pela vibração em todas as frequências, caso a amplitude seja suficientemente grande. No corpo humano a vibração é tratada de duas maneiras, sendo a Vibração de Corpo

Inteiro (VCI) e a Vibração em Mãos e Braços (VMB). Para o sistema VCI a faixa de frequência que tem potencial para acarretar em distúrbios é de 0,5 a 80 Hz . Já para VMB essa faixa é mais ampla e varia de 6,3 Hz a 1250 Hz (GRIFFIN, 1990).

Adewusi, Thomas e Vu (2012) desenvolveram um modelo em elementos finitos para determinação das frequências ressonantes no sistema mão e braço, cuja calibração foi realizada por meio de ensaios experimentais. Os autores encontraram as seguintes faixas de frequência: 10,9 – 15,27, 7 – 39,9, 87,9 – 99,2 e 97,8 – 110,0 Hz , tais faixas são atribuídas ao eixo z para sistema cujo braço encontra-se esticado. Já com a postura do braço dobrado as faixas são: 13,0 – 17,3, 27,2 – 36,8, 53,4 – 62,0, 78,1 – 89,9, 152,3 – 154,0 e 164,0 – 169,9 Hz . As tensões na palma da mão são maiores do que as tensões encontradas no ombro, punho e cotovelo.

A exposição à vibrações localizadas podem contribuir para o desenvolvimento de patologias em todo o sistema mãos e braço, sendo a "Síndrome dos dedos brancos" a mais comum e associada aos efeitos da vibração (XIMENES, 2006). No entanto Adewusi, Thomas e Vu (2012) associa os efeitos da vibração a lesões nas articulações do punho, cotovelo e ombro.

2.2.3 Isoladores de Vibração

Em sistemas práticos, a conversão gradativamente da energia de vibração em forma de calor e som, gera uma redução da energia, a resposta, bem como o deslocamento, diminui gradativamente. O mecanismo pelo qual essa conversão gradativa é realizada denomina-se amortecimento (RAO, 2009).

O grau de isolamento da vibração propiciado por um isolador é fortemente influenciado pelas características do amortecedor. O desempenho é definido em termos de transmissibilidade absoluta ou relativa. Em sua forma mais elementar um isolador é um elemento resiliente conectado entre a fonte de vibração e o equipamento, cuja sua função é minimizar o deslocamento ou reduzir a magnitude da força ou aceleração que é transmitida pela fonte (HARRIS, 2002b).

Diversos são os materiais usados no amortecimento de vibração, incluem-se metais, polímero, cerâmicas e compósitos. Isoladores metálicos e poliméricos tendem a desem-

penhar melhor sua função, devido a sua viscoelasticidade (CHUNG, 2001). A escolha do isolador é baseada na carga e condições dinâmicas de operação. Já o material é selecionado em função do ambiente onde será instalado e sua capacidade dinâmica (HARRIS, 2002b; RIVIN, 1995).

Mitra *et al.* (2018) testaram cinco tipos isoladores na alça de uma máquina policorte, os autores afirmam que usando borracha butílica a transmissão de vibração foi reduzida em 68,57% seguido da borracha neoprene cuja redução foi de 60,58%. Já a borracha de silicone e a borracha nitrílica ao invés de reduzir a transmissão de vibração houve um aumento de 46,42% e 24,94% respectivamente.

Os isoladores de molas metálicas helicoidais são usados principalmente pelo baixo custo e tamanho compacto. Molas desse tipo permitem uma grande deflexão estática e possuem baixa frequência natural, no entanto, sua aplicação requer as forças atuantes somente ao longo do eixo da mola, para evitar a instabilidade lateral. Sua aplicação é bastante efetiva para baixas frequências, a menos que seja combinada com um elastômero (HARRIS, 2002b)

Cherng, Eksioglu e Kızılaslan (2009) constataram a eficácia da combinação de molas e polímeros na redução do nível geral de vibração numa ferramenta manual de rebite.

2.2.4 Controle de Ruído

A redução do ruído no receptor é atingida através da minimização do ruído na fonte, seja por meio de projeto ou substituição da fonte emissora. Outra alternativa é alteração no percurso de propagação, por meio de barreiras ou caixas. Em casos onde a engenharia não consegue aplicar nenhuma das alternativas citadas, faz-se necessário proteger ou até mesmo isolar o receptor (NORTON; KARCZUB, 2003).

O objetivo em obter níveis aceitáveis de ruído leva em consideração os aspectos psicológicos, econômicos, médicos e operacionais, portanto é uma área do conhecimento que engloba várias disciplinas (BISTAFA, 2006).

Basicamente são encontradas duas fontes geradoras de ruídos em motores, sendo essas: ruído mecânico, cuja geração se dá pelo movimento dos componentes e o ruído de combustão, gerado pela variação abrupta da pressão dos gases (PACHECO; BARBOSA;

ZANNIN, 2002).

Atenuadores de ruído (silenciadores) são dispositivos que permitem a passagem do fluido, mas que atenuam a energia sonora propagada. Os requisitos para o funcionamento adequado de um silenciador são: desempenho de atenuação, aerodinâmica, geometria, materiais e custo. Podendo ser classificados como reativo ou reflexivo, resistivo ou dissipativo e combinado (BISTAFA, 2006).

Poletto Filho (2013) através do uso de atenuadores de ruído conseguiu baixar os níveis de ruído em motores de combustão interna de uma roçadora costal.

Schutzer (2018) descreve a importância no uso de protetores auriculares, como forma de prevenir os efeitos causados pelos altos níveis de ruído.

2.3 Saúde Ocupacional

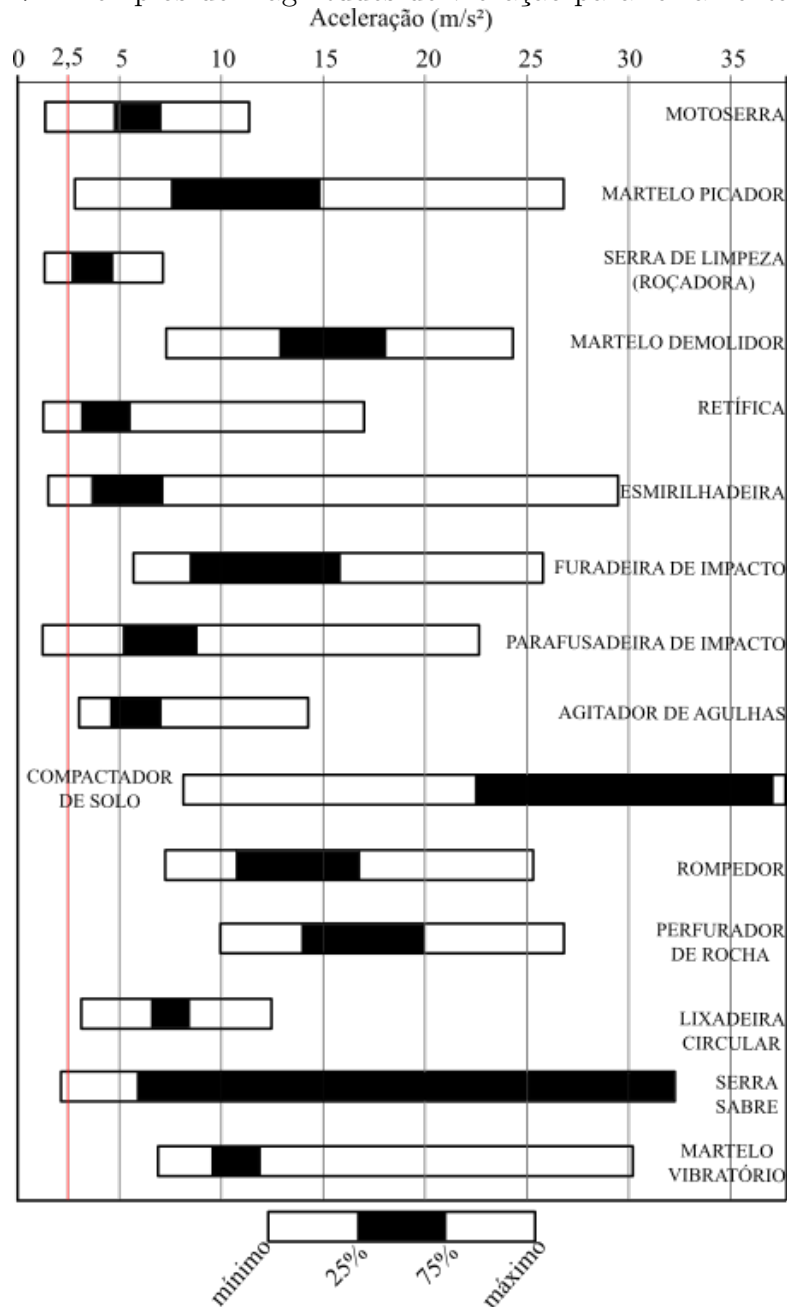
Muitos dos aspectos da saúde ocupacional dos operadores são devido ao uso de ferramentas em geral e não à vibração especificamente. Embora a vibração seja um aspecto fundamental na seleção de equipamentos, outros fatores não devem ser negligenciados, como é o caso do ruído. Outros fatores como formato do gatilho, manuseio e a massa da ferramenta são itens importantes para que a ferramenta possa realizar o trabalho de maneira eficaz com o mínimo de esforço do operador (MANSFIELD, 2004).

Em alguns setores de atividade o corpo humano está, permanentemente, exposto a vibrações mecânicas, que em geral provocam maior ou menor perturbação do bem estar, mas que em certos casos, podem dar origem a lesões irreversíveis e incapacitantes, configurando-se como trabalho insalubre.

2.3.1 Ferramentas Manuais

É provável que os operadores da maioria das ferramentas manuais, rotativas ou oscilatórias (lixadeiras, martelo de demolição, martetele, furadeira de impacto e etc) serão expostos a níveis de vibração acima do limite de ação. Estima-se que esse limite é excedido em uma ou duas horas utilizando ferramentas oscilatórias e em até quatro horas usando ferramentas rotativas (FRANKS; MERRY *et al.*, 1996). A Figura 2.7 apresenta a magnitude de vibração das ferramentas mais comumente utilizada na Europa.

Figura 2.7: Exemplos de magnitudes de vibração para ferramentas comuns



Fonte: Adaptado de Franks, Merry *et al.* (1996)

Çakmak *et al.* (2011) realizaram um estudo comparativo entre 5 tipos de derrigadoras de azeitona, todas com motores elétricos, onde obtiveram valores resultantes de acelerações entre $2,23 \frac{m}{s^2}$ e $42,91 \frac{m}{s^2}$. O autor cita o peso como sendo um diferencial em relação a outros tipos de acionamento, também concluiu que os níveis equivalente de pressão sonora atenderam as normas vigentes.

Cerruto, Manetto e Schillaci (2012) avaliou a onze diferentes combinações (4 tipos de pentes, comprimento e diâmetro da haste e material (alumínio e fibra de carbono) de derrigadoras de azeitona e concluiu que a cinemática dos pentes e o material da haste

desempenham um papel importante nos níveis de vibração. O uso da fibra de carbono representou uma redução de na aceleração de $21 \frac{m}{s^2}$ para $16 \frac{m}{s^2}$

Manetto e Cerruto (2013) utilizando duas derrçadora elétricas para colheita de azeitona, observaram que para os comprimentos de hastes ensaiadas não há diferença significativa para os valores de aceleração, entretanto todos os ensaios extrapolaram os limites de ação. Outro fator que o autor cita, em baixa rotação a massa e a geometria dos pentes influenciam diretamente na vibração.

Calvo *et al.* (2014) diz que a postura do operador durante a derriça, braços acima dos ombros, pode vir a gerar problemas de saúde envolvendo patologias musco esqueléticas, nervosas e vasculares, além desta observação o autor encontrou níveis altos de aceleração para derrçadoras elétricas.

Catania, Bono e Vallone (2017) utilizando dois tipo de derrçadoras de azeitona, sendo um acionado por um motor a combustão e com garra do tipo gancho, o outro equipado com motor elétrico e garra tipo pente, obtiveram valores de ação diária acima do que preconiza a Directive European 2002/44/EC (2002), sendo esses $42,07 \frac{m}{s^2}$ e $20,79 \frac{m}{s^2}$ respectivamente.

Uma redução significativa na exposição a vibração de mãos e braços foi alcançada como resultado de cinco medidas principais: uso de procedimentos de trabalho com redução de vibração, projeto de máquinas e ferramentas com redução de vibração, uso de garras antivibratórias, uso de material elástico e revestimentos de aderência, e o uso de luvas anti-vibração (FRANKS; MERRY *et al.*, 1996).

Saraçoğlu *et al.* (2011) realizaram ensaios com cinco derrçadoras do tipo gancho e concluíram que os níveis equivalentes de pressão sonora para marcha lenta estão entre 67 e 80 $dB(A)$ já na condição de carga total os esse valores ficam entre 91 e 103 $dB(A)$.

A segurança na operação de máquinas cabe ao individuo realizar, no entanto é fundamental o treinamento e instruções cita Sales, Silva e Silva (2015). O mesmo ainda apresentou níveis de ruído máximo entre 94,4 e 95,7 $dB(A)$ aos quais os operadores de derrçadoras portáteis acionadas por motor a combustão estavam submetidos.

Em um estudo utilizando diferentes roçadoras laterais, Schutzer (2018) ressalta a importância do uso de equipamentos de proteção individual com a finalidade de amenizar os altos níveis de ruído e vibração gerados pelo equipamento. Harona *et al.* (2015)

também encontrou níveis de aceleração e ruído acima do que preconiza a norma, o autor sugere a determinação de medidas corretivas: programa de conservação auditiva e controle de ruído.

Entre as os efeitos do ruído sobre o corpo humano, tem-se a perda auditiva induzida por ruídos (PAIR), caracterizada pela degeneração das células ciliadas do órgão de Corti isso se deve a altos níveis de estimulação sonora ou exposição química (OLIVEIRA, 2001, 2002; HYPPOLITO, 2003). O agravamento é dado pela exposição à níveis acima de 85 $dB(A)$ durante uma jornada diária de 8 h (BERNARDI *et al.*, 2005).

2.3.2 Legislação - Ruído

A sensação sonora é produzida através da propagação de ondas de pressão atmosférica em decorrência de uma movimentação mecânica repentina. Os níveis de audibilidade são dependentes da frequência, intensidade e duração (IIDA, 2012). Para Bistafa (2006) o ruído é uma sensação sonora composta por diferentes frequências que causam sons indesejados, em geral de conotação negativa, já Franks, Merry *et al.* (1996) definem ruído como sendo um som errático, com oscilações estaticamente aleatória ou intermitente.

Em decorrência das doenças ocupacionais geradas pelo ruído, tem-se um objeto de estudo de grande relevância em âmbito nacional e internacional. O efeito desse fenômeno em seres humanos contribui para a redução da produtividade no trabalho e movimentam tribunais com diversas ações trabalhista (JUNIOR, 1998).

O Brasil como membro signatário da Organização Internacional do Trabalho (OIT) fica a partir da convenção N°148, de 1977 obrigado a criar critérios para o estabelecimento e aplicação de limites aos agentes físicos e químicos, tendo em vista a eliminação dos riscos, tais como a contaminação do ar, ruído e vibração. Em cumprimento ao decreto existem basicamente três normas regulamentadores cujo assunto é referente, são elas: NR-6 que trata de equipamentos de proteção individual, NR-7 refere-se ao exame audiométrico e a Norma Regulamentadora NR15 (BRASIL (2018)) que discorre sobre as atividades e operações insalubres, dentre elas as que envolvem a exposição ao ruído.

A Norma Regulamentadora NR15 (BRASIL (2018)), anexo 1, estipula os limites de exposição para o ruído contínuo ou intermitente, além de propor a correta maneira de

Tabela 2.1: Critério de julgamento e tomada de decisão resumido

Nível de ruído dB(A)	Máxima exposição diária permissível
85	8 horas
90	5 horas
95	2 horas
100	1 hora
105	30 minutos
110	15 minutos
115	7 minutos

Fonte: Adaptado da Norma Regulamentadora NR15 (BRASIL (2018))

configurar o aparelho medidor de pressão sonora. A Tabela 2.1 apresenta os limites de exposição.

A norma prevê a dose diária como sendo um jornada de trabalho de 8 horas, portanto para esse limite de exposição os níveis de ruído não devem ultrapassar 85 dB(A). Já os limite de exposição valor teto (LE-VT) para o ruído contínuo ou intermitente é de 115 dB(A), ou seja, valores acima do LE-VT não é permitida a exposição em nenhuma dose. O valores nesse intervalam podem ser consultados na Tabela 2.1 ou calculados pela Equação 2.4 e Equação 2.5

$$NE = 10 \cdot \log \left(\frac{480}{T_E} \cdot \frac{D}{100} \right) + 85 \quad (2.4)$$

$$D = \frac{T_E}{480} \cdot 100 \cdot 2^{\left(\frac{NE-85}{3}\right)} \quad (2.5)$$

onde:

NE = nível de exposição em dB;

D = dose diária de ruído em porcentagem;

T_E = tempo de duração, em minutos da jornada de trabalho.

As recomendações da *Internation Organization for Standardization* (ISO) e *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) para o limite de exposição para oito horas é de 90 dB(A). Já para um tempo de exposição de 2 horas a ISO estipula 96 dB(A), contra 100 dB(A) da OSHA (MEDURI, 2000).

A apreciação deve ser realizada utilizando-se equipamentos do tipo medidores integradores de uso pessoal, que são fixados diretamente no operador. No entanto a norma prevê outras formas de avaliação, medidores de leitura instantânea ou medidores inte-

Tabela 2.2: Faixas de Frequências

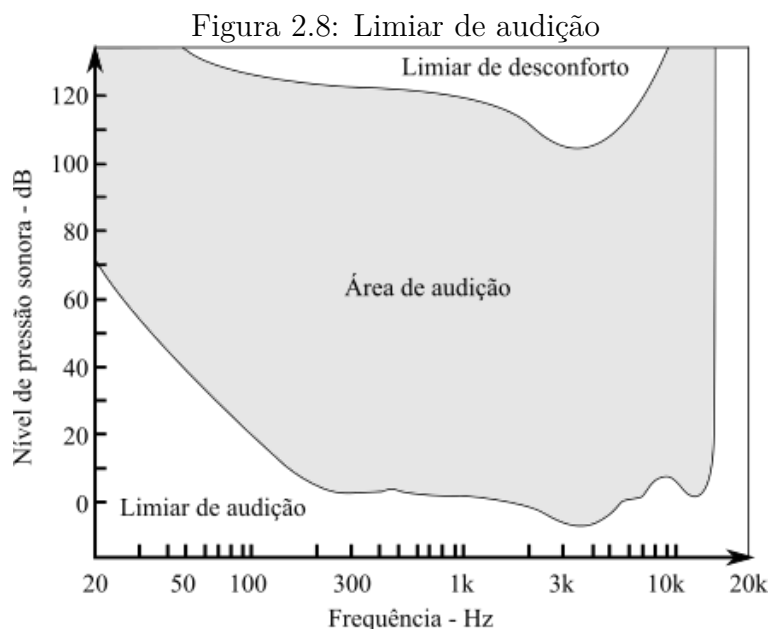
Faixas de frequências	Som	Oitavas (Hz)
Baixa	Graves	31,25;62,5;125;250
Média	Médios	500;1000;2000
Alta	Agudos	4000;8000;16000

Fonte: Fernandes (2002)

gradores, cujo fixação não é feita no operador.

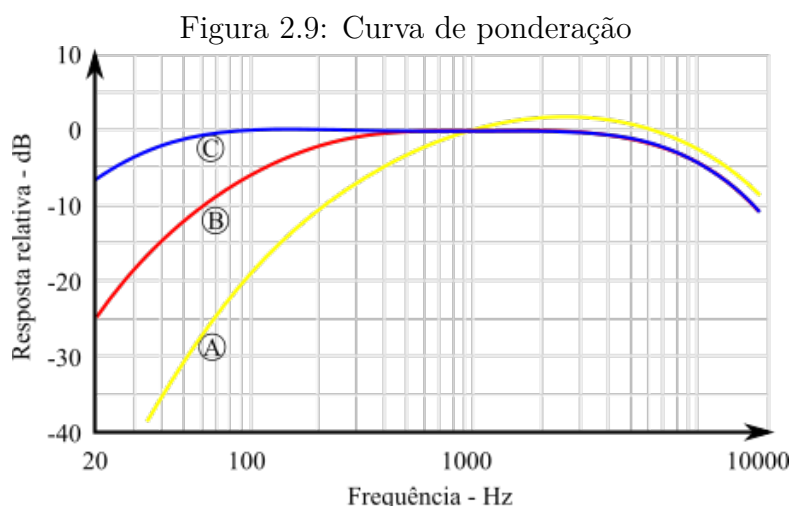
Os medidores integradores de uso pessoal ou medidores de pressão sonora, devem atender as especificações da Norma ANSI-S1.25 (1991), bem como de suas futuras revisões. Para avaliação de ruído, o sinal é captado e convertido em sinal elétrico, por um acelerômetro ou microfone. O fato do sinal ser de baixa intensidade, faz com que o mesmo seja amplificado através de um circuito de compensação A, B, C ou D. Após amplificado o sinal é exibido em suas respectivas escalas.

A sensibilidade da audição do ser humano (Figura 2.8), abrange uma gama de frequências audíveis (Tabela 2.2). As baixas e altas frequências são atenuadas pelo ouvido do ser humano e com intuito de tornar as medidas de pressão sonoras próximas das sensações do ouvido, foram criadas as chamadas curvas de ponderação Figura 2.9.



Fonte: Adaptado de Everest Frederick Alton; Pohlmann (2014)

Para avaliação de ruído contínuo ou intermitente o aparelho deve estar ajustados de forma a operar no circuito de ponderação "A", resposta lenta (*slow*) é ter uma escala entre 80 e 115 $dB(A)$. A norma não prevê a resolução máxima do aparelho a ser utilizado



Fonte: Adaptado de Everest Frederick Alton; Pohlmann (2014)

nem o uso do áudio dosímetro, no entanto Saliba e Corrêa (1995) diz que no item *IV* do Anexo *I* da Norma Regulamentadora (BRASIL (2018)) é previsto o uso de efeitos combinados para avaliação do ruído.

O dosímetro é um monitor de exposição que armazena os dados de ruído constantemente, utilizando um microfone fixado no operador e com princípio de funcionamento similar aos medidores de pressão sonora. O equipamento fornece a dose acumulada durante o tempo de funcionamento. Portanto sua comparação com os limites de exposição previsto pelas normas é feita a relação direta.

2.3.3 Legislação - Vibrações em mãos e braço (VMB)

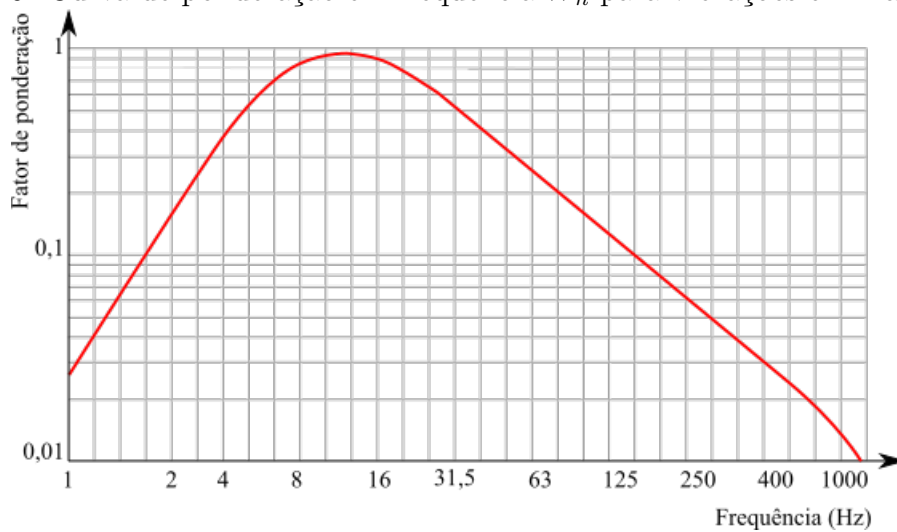
Desde muitos anos os aspectos epidemiológicos da relação entre exposição e resposta têm sido estudados por diversos autores Pyykkö (1986); Gemne (1997); Bovenzi (1998); Bovenzi, Lindsell e Griffin (2000); Punnett e Wegman (2004); Bovenzi (2005).

As normas atuais fornecem parâmetros sobre a importância relativa da magnitude e frequência da vibração, tempo de exposição diária e exposição acumulada ao longo da vida que influenciam o desenvolvimento da síndrome do dedo branco induzido pela vibração. Atualmente, não há orientação sobre a provável incidência de distúrbios não vasculares ou a incapacidade decorrente de distúrbios vasculares ou não vasculares (GRIFFIN, 2008).

As normas citadas neste estudo utilizam a ponderação de frequência (W_h) para avaliar a vibração transmitida para mãos e braços na faixa de frequência aproximada de

8 a 1000 Hz . Tal ponderação é aplicada sobre as medições da aceleração da vibração em cada um dos eixos ortogonais de vibração no ponto de entrada da mão. As linhas de referência para quantificar e avaliar a exposição humana bem como os detalhes dos diferentes métodos de análises para as vibrações transmitidas à mãos e braços são dadas pelas norma internacional ISO 5349 (2001) parte 1 e 2. Nas recomendações da norma ISO 5349 (2001), a quantidade usada para descrever a magnitude das vibrações transmitidas para o sistema mãos e braços é a aceleração ponderada em frequência. A Figura 2.10 apresenta a curva de ponderação utilizada pelas normas vigentes.

Figura 2.10: Curva de ponderação em frequência W_h para vibrações em mãos e braços.



Fonte: Adaptado de ISO 5349 (2001)

Segundo a norma ISO a vibração deve preferencialmente ser medida simultaneamente nos três eixos do sistema cartesiano, como segue: eixo Z direcionado ao longo do segundo metacarpo da mão, eixo X perpendicular ao eixo Z, ambos são normais ao eixo longitudinal da mão, e o eixo Y paralelo ao eixo da mão (Figura 2.11).

A avaliação da exposição a vibração de acordo com a norma ISO 5349 (2001) é calculada através de uma ponderação feita utilizando a Equação 2.6. Após avaliada e ponderada individualmente, é calculada a aceleração resultante dado pela Equação 2.7

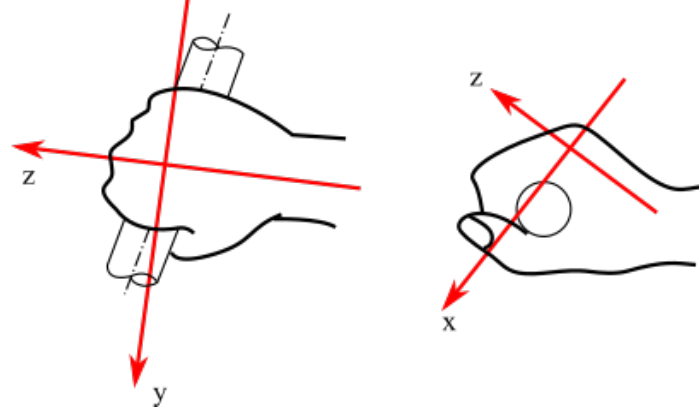
$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} \cdot a_{hi})^2} \quad (2.6)$$

onde:

W_{hi} é o fator de ponderação para banda de um terço de oitava.

a_{hi} é a aceleração r.m.s (*root mean square*) medida na banda de um terço de oitava,

Figura 2.11: Orientação dos eixos para medição da vibração em mãos e braços



Fonte: Adaptado de Griffin (2008)

dada em $\frac{m}{s^2}$.

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (2.7)$$

onde a_{hwx} , a_{hwy} e a_{hwz} são os valores ponderados em frequência para cada eixo, x , y e z respectivamente. A exposição ocupacional a *VMB* é dependente das variáveis, magnitude de vibração e tempo de exposição. O tempo total de exposição, T é a duração que as mãos estão exposta a vibração durante o dia de trabalho. O tempo de referência (T_0) a exposição diária à vibração é expresso em termos de aceleração equivalente a uma jornada de 8 h de energia e é dado pela Equação 2.8

$$A_8 = a_{hv} \cdot \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2.8)$$

No anexo A da ISO 5349-1 (2001), é sugerida uma relação entre a exposição acumulada a *VMB*, essa relação fornece o tempo (D_y) em anos para aparecimento de sintomas da síndrome dos "dedos brancos" em 10% de pessoas de um grupo exposto a vibração localizada.

$$D_y = 31,8 \cdot [A_8]^{-1,06} \quad (2.9)$$

Em contra partida a ISO 5349 (2001), a Comunidade Europeia através da Directive European 2002/44/EC (2002) estabelece os limites de exposição à vibração transmitida a mãos e braços. O manual técnico estipula valores limites para a aceleração equivalente

denominados níveis de ação e limite de exposição, sendo $2,5 \frac{m}{s^2}$ e $5 \frac{m}{s^2}$ respectivamente. Os valores fornecidos são referentes a 8 horas e os procedimentos técnico de análise da vibração são de acordo a ISO 5349 (2001).

No Brasil tem-se a Norma Regulamentadora NR-15 - Anexo nº8, que prevê a caracterização de trabalho insalubre decorrente da exposição às Vibrações de Mãos e Braços (VMB) e Vibrações de Corpo Inteiro (VCI). Os procedimentos técnicos para avaliação das vibrações são direcionadas para a NHO 10 - Norma de Higiene Ocupacional a qual faz referência as normas mencionadas anteriormente além de estabelecer os critérios de julgamento (Tabela 2.3) para os limites de ação e exposição, fornecendo ações recomendadas para cada nível de aceleração equivalente.

Tabela 2.3: Critério de julgamento e tomada de decisão

$A_8 \left(\frac{m}{s^2} \right)$	Consideração Técnica	Ação Recomendada
0 a 2,5	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente.
>2,5 a <3,5	Acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas.
3,5 a 5,0	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas corretivas visando à redução da exposição diária.
>5,0	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas.

Fonte: (FUNDACENTRO, 2012)

Griffin (2008) menciona que os sistemas para caracterização dos efeitos da vibração transmitidas não estão relacionados ao métodos para medir e avaliar possíveis sinais ou sintomas de distúrbios gerados em função deste fenômeno. O autor ainda cita que é necessário uma avaliação dos sintomas para determinação do método, uma vez que os distúrbios podem ser do tipo vasculares, efeitos neurológicos e músculo esqueléticos, dessa forma é possível identificar os critérios predominantes podendo levar a um caminho mais rigoroso para as avaliações individuais, de forma a melhorar o relato de distúrbios causados pela VMB.

Capítulo 3

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

A metodologia utilizada no presente trabalho foi composta de experimentação em campo com levantamento dos dados sobre os fenômenos estudados, comparação dos resultados com a legislação vigente e proposta de melhorias com desenvolvimento e instalação de um protótipo de isolador, denominado de manopla absorvedora.

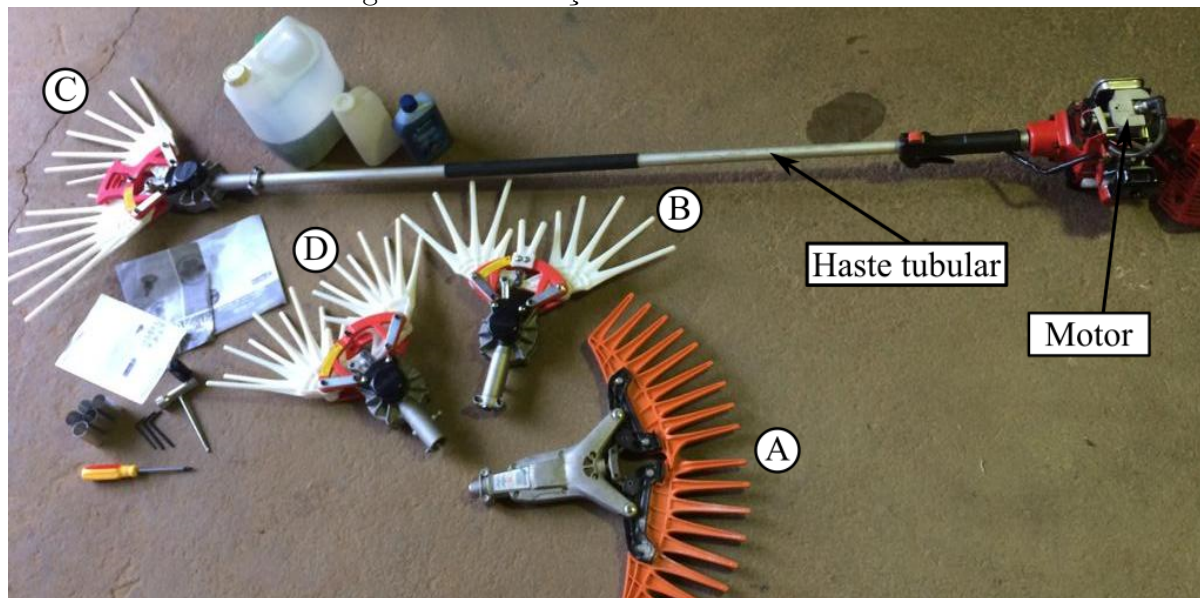
A avaliação da exposição dos operadores às vibrações são diferentes quando tratada sob a transmissão via mãos e braços ou através do corpo inteiro. Dá mesma forma o ruído também pode ser tratado sob o ponto de vista do operador ou seus efeitos num âmbito global do ambiente. Para este trabalho a vibração é analisada nas mãos e braços do operador conforme a norma NHO10 (FUNDACENTRO, 2012) a qual faz referência à ISO 5349 (2001), partes 1 e 2, que estabelece os critérios para a avaliação da vibração em ferramentas manuais, bem como a Directive European 2002/44/EC (2002) que determina o nível de ação e limite de exposição à vibração nas mão e braços. Já o ruído é analisado conforme preconiza a anexo I da Norma Regulamentadora NR15 (BRASIL (2018)), ou seja, avalia os níveis de pressão sonora e faz determinações do tempo de exposição que um operador pode estar submetido, em função do equipamento utilizado.

3.1 Equipamentos

Para realização dos ensaios, utilizou-se uma derrigadora monocilindro com 1,2 *cv* de potência, 23 *cc* e reservatório com capacidade para 0,6 *litros*. O equipamento é

composto por uma fonte de potência, uma haste tubular em alumínio ($L_h = 1100mm$ x $\varnothing 24 mm$), onde acoplado a haste foram utilizadas 4 ponteiros distintos, sendo elas: Ponteira 12 (B), 14(C), 18(A) e 20 dedos (D). A Figura 3.1 apresenta a derriçadora manual juntamente com as ponteiros.

Figura 3.1: Derriçadora manual de café



Todas as ponteiros utilizadas, apresentavam uma massa de aproximadamente $1,8 kg$, salvo a ponteira D, cuja a massa foi de $2,2 kg$. As ponteiros apresentam o mesmo princípio de funcionamento, diferindo apenas na forma geometria dos dedos à área ocupada e a frequência de oscilação. O conjunto derriçadora, haste e cabo de transmissão, apresentou uma massa de aproximadamente $4,6 kg$, com o reservatório de combustível esgotado.

Para medir a aceleração transmitida ao sistema mãos e braços, utilizou-se um acelerômetro triaxial, modelo *SEN040F* acoplado ao sistema de aquisição *HVM200* (Figura 3.2), por meio de um cabo modelo *CBL217 – 01*, cujo fabricante é a Larson Davis. Os equipamentos mencionados foram adquiridos através do financiamento para pesquisa pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Edital Universal nº01/2016), processo 400500/2016 – 7

O acelerômetro é um elemento transdutor piezoelétrico, que capta um sinal de entrada (aceleração) e faz a correspondência num sinal elétrico de saída que será recebido pelo sistema de aquisição. O sistema de aquisição incorpora, de acordo com a norma

ISO, um sistema de filtros que permitem a ponderação em diferentes bandas de frequência. O aparelho pode ser configurado via telefone móvel por meio de um aplicativo ou via laptop.

Figura 3.2: Conjunto para aquisição de dados de vibração



Para avaliação do ruído, foi utilizado um dosímetro (Figura 3.3) de ruído modelo DOS600 da fabricante Instrutherm. O equipamento é composto pelo sistema de aquisição e um microfone para captação do ruído.

Figura 3.3: Dosímetro



Fonte: Instrutherm (2019)

A Dose é o parâmetro utilizado para a caracterização da exposição ocupacional ao ruído, sendo expresso em porcentagem de energia sonora e possui como referência o valor máximo de energia sonora admitida. A relação direta entre Dose e Ruído segundo a NR15 é definida a seguir e equivale a uma exposição diária de 8 horas

$$85dB(A) = 100\% \text{ Dose} \quad (3.1)$$

Como forma de manter os mesmos parâmetros durante a realização de todos os ensaios, a rotação da derrigadora foi controlada por meio de um tacômetro digital, modelo PET304 fabricado pela empresa ECHO. A Figura 3.4 mostra o aparelho fixado ao cabo de vela do motor através de um mordente, assim foi possível fazer a leitura da rotação ao longo do tempo, de forma a controlar aceleração do motor e manter uma faixa de rotação para todos os ensaios.

Figura 3.4: Montagem do tacômetro



3.2 Procedimento e coleta de dados

A coleta dos dados segundo Pitts (2004) envolve incertezas que não estão associadas apenas aos equipamentos utilizados, mas a um outro fator que pode ter uma influência ainda maior, a metodologia de medição. A ISO 5349 (2001) cita que as incertezas mais relevantes são as que estão associadas a localização dos pontos de medição e a

variabilidade das operações.

Os ensaios foram realizados em duas situações de carga do motor, ou seja, em marcha lenta e em plena carga. Foi definido como marcha lenta (ML), o ponto do motor para a qual as ponteiras não sofressem deslocamento, porém estavam na iminência do movimento, a faixa de rotação utilizada foi de $3400\text{ rpm}(\sim 56,66\text{ Hz})$. Já em plena carga (PC) utilizou-se como referência a rotação por volta de $9500\text{ rpm}(\sim 158,33\text{ Hz})$, visto que o limite especificado pelo fabricante é $11000\text{ rpm}(\sim 183,33\text{ Hz})$, porém não se recomenda trabalhar nessa faixa de rotação. As condições estabelecidas para os ensaios são apresentadas na Tabela 3.1.

Para cada ensaio foram feitas 3 repetições com duração de 1 minuto por repetição, portanto a frequência de aquisição de dados foi determinada em 60 Hz , ou seja, o módulo captava uma leitura do sensor (aceleração em r.m.s) a cada segundo. Em todos os ensaios utilizou-se um tacômetro a fim de verificar a rotação.

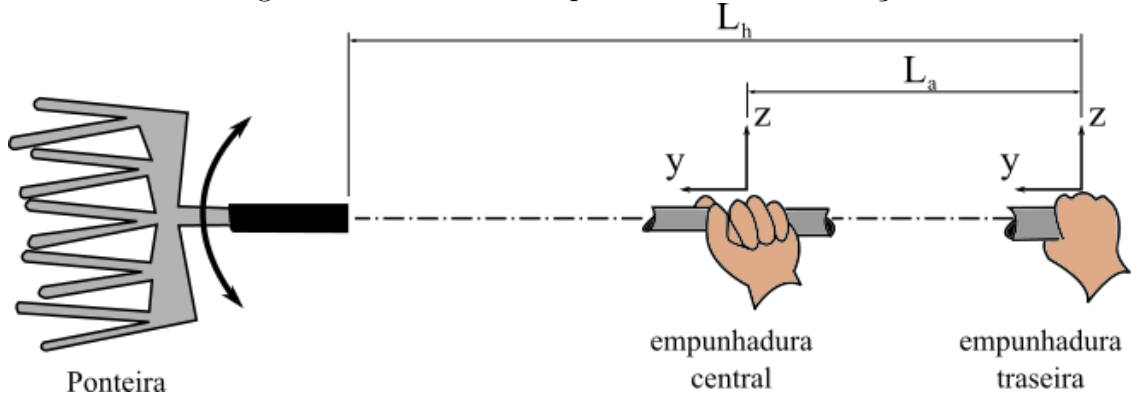
Tabela 3.1: Condições estabelecidas para os ensaios

Ensaio	Empunhadura central (EC)	Empunhadura traseira (ET)	Ponteira	Rotação
1º	x		12 dedos (B)	marcha lenta (ML)
2º	x		12 dedos (B)	plena carga (PC)
3º	x		14 dedos (C)	marcha lenta (ML)
4º	x		14 dedos (C)	plena carga (PC)
5º	x		18 dedos (A)	marcha lenta (ML)
6º	x		18 dedos (A)	plena carga (PC)
7º	x		20 dedos (D)	marcha lenta (ML)
8º	x		20 dedos (D)	plena carga (PC)
9º	x		Sem Ponteira (SP)	marcha lenta (ML)
10º	x		Sem Ponteira (SP)	plena carga (PC)
11º		x	12 dedos (B)	marcha lenta (ML)
12º		x	12 dedos (B)	plena carga (PC)
13º		x	14 dedos (C)	marcha lenta (ML)
14º		x	14 dedos (C)	plena carga (PC)
15º		x	18 dedos (A)	marcha lenta (ML)
16º		x	18 dedos (A)	plena carga (PC)
17º		x	20 dedos (D)	marcha lenta (ML)
18º		x	20 dedos (D)	plena carga (PC)
19º		x	Sem Ponteira (SP)	marcha lenta (ML)
20º		x	Sem Ponteira (SP)	plena carga (PC)

Um operador qualificado na categoria manuseou a derriçadora, cujo acelerômetro, juntamente com o adaptador foi inicialmente fixado na empunhadura traseira (ET) e depois trocado para a empunhadura central (EC), ambas as situações conforme a ISO 5349 (2001) preconiza, ou seja, respeitando a localização dos eixos, conforme é mostrado na Figura 3.6. Na Figura 3.5 estão representados os pontos de fixação do acelerômetro, bem como os eixos segundo a norma.

É importante salientar que a posição da mão da empunhadura central, foi determi-

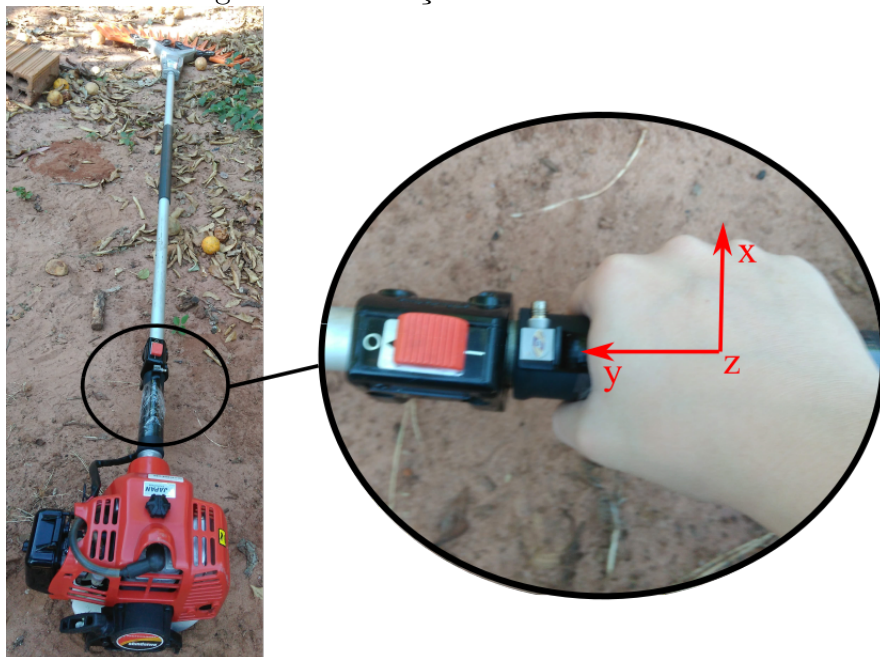
Figura 3.5: Dimensões e pontos de instrumentação



nada em função da posição de conforto do operador, portanto, em cada repetição ou troca de ensaio a distância $L_a = 750 \text{ mm}$ foi respeitada.

Todas as medidas de proteção foram implementadas, de forma a manter a integridade física do operador. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da FAAC – Faculdade de Arquitetura e Artes da Unesp – Campus Bauru, CAAE: 87454818.4.000.5663.

Figura 3.6: Derrigadora instrumentada



Antes de proceder com os ensaios, todos o sistema mecânico da derrigadora e das ponteiros foram devidamente lubrificados, conforme recomendações do fabricante. Da mesma forma os aparelhos de aquisição de dados também foram calibrados.

O HVM200 foi configurado para operar no modo mãos e braços, o qual utiliza a curva de ponderação W_n , recomendado pela norma e apresentada na Figura 2.10. O fator de

multiplicação para os eixos cartesianos foram considerados 1,0, o sinal AC Ponderado, sem ganho e com sensibilidade ajustada de acordo com a carta do fabricante.

Para a captação dos níveis de ruído o dosímetro foi operado no circuito de compensação "A" e circuito de resposta "*slow*". O limiar de integração utilizado foi de $80\text{ dB}(A)$, com incremento de duplicação de dose (q) igual a $5\text{ dB}(A)$, o critério de referência foi de $85\text{ dB}(A)$, como preconiza a norma NR15. O microfone do aparelho foi fixado dentro da zona audível do operador próximo a orelha direita, uma vez que é o lado mais exposto, em função da derriçadora ser manuseada do mesmo lado. Os dados de ruído foram captados durante todo o período de aquisição dos dados de vibração e para todas as condições ensaiadas.

Os ensaios foram realizados em uma propriedade particular, no município de Bauru, pertencente a Sr^o José Cláudio Savian. A derriçadora foi manuseada apenas por um operador, cuja a realização se deu em dois dias distintos, de forma a evitar a fadiga do operador e aumentar a confiabilidade dos resultados.

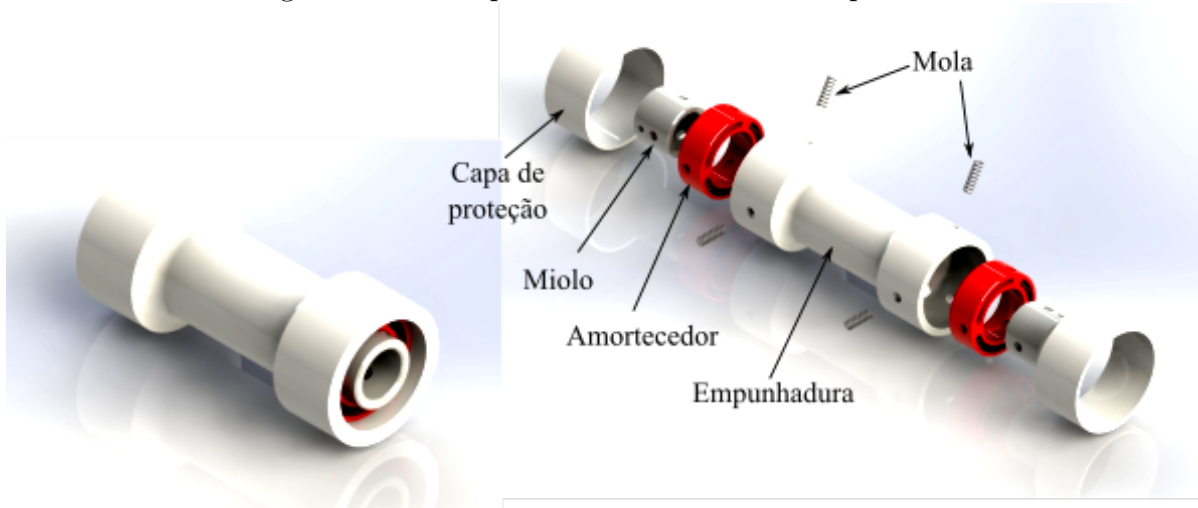
3.2.1 Manopla Absorvedora

Após a aquisição dos dados com equipamento padrão, ou seja, conforme vem de fábrica, e todos os dados analisados, um dispositivo cuja função é minimizar a vibração transmitida para o sistema mãos e braços foi projetado. A Figura 3.7 mostra o protótipo desenvolvido associando elementos isoladores de vibração, molas e elastômero, e combinando parâmetros ergométricos de projeto, cuja referência são as medidas antropométricas.

O protótipo da manopla é composto por duas capas de proteção, fabricadas em nylon, uma empunhadura também em nylon, dois elementos amortecedores usinados em poliuretano, dois miolos em aço ABNT 1020 e seis molas, fabricadas em aço mola, cujo diâmetro do fio é 1 mm .

A geometria da empunhadura foi projetada com base em estudos de ergonomia de ferramentas manuais, onde o diâmetro deverá impedir que o operador exerça um excesso de pressão durante o manejo da ferramenta, em contra partida a pegada deve proporcionar capacidade de manuseio do equipamento.

Figura 3.7: Manopla absorvedora - Vista explodida

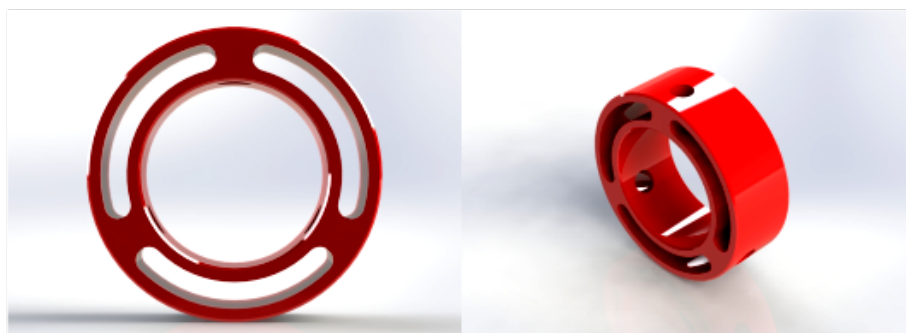


A utilização de elementos poliméricos para o amortecedor e elementos metálicos para as molas, tem-se como base a necessidade de absorver altas e baixas frequências de vibração, optou-se por essa combinação uma vez que a literatura sugere como sendo uma ótima combinação para absorvedores.

Para a determinação da posição das molas, seu princípio de funcionamento foi levado em consideração, ou seja, molas helicoidais tem a capacidade de responder a excitações cuja aplicação é exercida no sentido axial. Sabe-se também que 3 pontos é mínima condição de fixação que de fato torna um elemento rígido, portanto associando essas duas condições, as molas foram dispostas num ângulo de 120 graus.

O elemento amortecedor polimérico foi introduzido, pensando nos benefícios de sua associação com elementos metálicos, porém outra função do elemento é cessar os movimentos oscilatórios das molas. Os detalhes da geometria do amortecedor podem ser vistos na Figura 3.8.

Figura 3.8: Elemento amortecedor



Como já mencionado o material utilizado para a fabricação do amortecedor é o poliuretano (PU) com 90 *Shore A* de dureza. O poliuretano foi escolhido por ser um material de baixo custo, porém que agrega características importantes para a absorção de vibração, como alta resiliência. A geometria usinada visa compensar uma característica do material, a baixa deformação, dessa forma durante a aplicação o elemento além de cumprir a sua função, permite também que a mola helicoidal tenha uma compressão caso necessário.

Com o propósito de fazer um comparativo sobre a eficácia do protótipo, todos os materiais e procedimentos para coleta de dados, foram utilizados para a realização de novos ensaios, visando testar o desempenho da manopla absorvedora. Portanto a manopla absorvedora foi instalada na derriçadora e instrumentada (Figura 3.9).

Figura 3.9: Manopla instrumentada



Os ensaios foram realizados conforme as condições já impostas anteriormente, no entanto somente foram realizados os ensaios para a empunhadura traseira, as condições ensaiadas podem ser vistas na Tabela 3.2

Tabela 3.2: Condições estabelecidas para os ensaios com a manopla absorvedora

Ensaio	Ponteira	Rotação
1º	12 dedos (B)	marcha lenta (ML)
2º	12 dedos (B)	plena carga (PC)
3º	14 dedos (C)	marcha lenta (ML)
4º	14 dedos (C)	plena carga (PC)
5º	18 dedos (A)	marcha lenta (ML)
6º	18 dedos (A)	plena carga (PC)
7º	20 dedos (D)	marcha lenta (ML)
8º	20 dedos (D)	plena carga (PC)

3.3 Metodologia de análise

Na sequência da realização dos ensaios, os dados coletados foram transferidos para o *laptop*. Os dados de vibração foram manipulados através do software G4 e posteriormente utilizou-se um editor de planilhas para as devidas considerações estatísticas.

Foram utilizados para análise os valores de aceleração nos três eixo, x, y e z, onde além dos valores r.m.s, também foram analisados os valores de pico. Através dos valores de aceleração nos eixos cartesianos, a aceleração resultante ponderada em frequência, foi calculada pela Equação 2.7, e confrontada com o que preconiza a Directive European 2002/44/EC (2002), determinando o tempo de exposição ao qual o operador pode manusear o equipamento sem que haja prejuízos a saúde.

Além das comparações com as normas vigentes, foram determinados os tempos, para cada ensaio, que os operadores poderiam vir a sentir os sintomas da síndrome dos "dedos brancos", essa relação é dada pela (ISO 5349, 2001) em seu anexo A.

Posteriormente o cruzamento entre os dados de todos as condições ensaia, foi estabelecida, a fim de mapear quais as influências que as diferentes configurações trariam para a transmissão da vibração no sistema mãos e braços.

Já o ruído, os dados obtidos durante a realização dos experimentos, foram manipulados no software DOS-600 e confrontados com os limites propostos pela NR-15. Os

tempos de exposição em função do nível de pressão sonora, podem ser vistos na Tabela 2.1.

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos dos ensaios vibracionais e de ruído com a derriçadora de café, bem como a avaliação do desempenho da manopla absorvedora desenvolvida. Os valores estão apresentados na forma gráfica por meio de figuras e através de tabelas, os quais são compostos pelas acelerações r.m.s e de pico para cada condição ensaiada. Também são apresentados os tempos de exposição, calculados conforme preconiza a ISO 5349 (2001). Já para os dados de ruído, os mesmos são apresentados e comparados com a legislação em vigor.

4.1 Ruído

Após a realização dos ensaios, foi gerado uma tabela com a dose de ruído bem como os níveis máximos de pressão sonora obtidos para cada condição ensaiada. Através da Equação 2.4 os níveis de ação foram calculados, todos os dados são apresentados na Tabela 4.1.

Fazendo o cruzamento dos dados com o que preconiza a norma, para níveis de pressão sonora de $85\text{ dB}(A)$ durante 8 horas é considerado 100% da Dose, ou seja, avaliando os valores obtidos nota-se que para os ensaios em marcha lenta os níveis estão dentro dos valores aceitáveis, no entanto quando a derriçadora está operando na condição de plena carga esses valores ultrapassam os limites, chegando a 637% da Dose.

Os resultados de ruído em termos de níveis de exposição (NE) estão próximos do valores citados por Saraçoğlu *et al.* (2011), onde os para a condição de marcha lenta

Tabela 4.1: Dose de ruído para os ensaios

Ensaio	Max (dB(A))	Dose de ruído (%)	NE(dB(A))	Te (min)
ET B ML	87,3	67,9	83,32	480
ET B PC	102,1	637	93,04	150
ET C ML	85,4	84,5	83,41	480
ET C PC	108,7	550,8	92,41	25
ET A ML	83,6	62,3	82,94	480
ET A PC	97	380,2	90,80	210
ET D ML	83,2	57,3	82,58	480
ET D PC	95,7	339,9	90,31	210
ET SP ML	82,2	22,9	78,60	480
ET SP PC	95	302,3	89,80	240

os níveis ficaram entre 78,69 e 83,41 $dB(A)$, já para a condição de plena carga esses valores subiram para 89,8 e 93,04 $dB(A)$.

Os níveis de ruído máximo encontrados durante os ensaios com a derrigadora ficaram na faixa de 82,2 a 108,7 $dB(A)$, limitando os ensaios para a condição de plena carga a faixa para os valores máximos vai de 95 $dB(A)$ a 108,7 $db(A)$, valores próximos aos encontrados por Sales, Silva e Silva (2015) em ensaios com derrigadores do tipo gancho acionadas por motores de combustão interna.

Segundo a Norma Regulamentadora NR15 (BRASIL, 2018) uma jornada de trabalho equivalem a 8 *horas* de serviço, nota-se que para a derrigadora apenas as condições em marcha lenta possibilitam de fato que o operador manuseie o equipamento durante todo o período de trabalho. Em plena carga a jornada de trabalho fica entre 25 e 240 *minutos*, o que de fato está bem abaixo das jornadas encontradas nas lavouras. É importante salientar que em lavouras, normalmente não se tem apenas uma derrigadora operando, fato que aumenta ainda mais os níveis de ruído, fazendo com que o tempo de exposição diminua.

Harona *et al.* (2015) também encontrou níveis de aceleração e ruído acima do que preconiza a norma, o autor sugere a determinação de medidas corretivas: programa de conservação auditiva e controle de ruído.

4.2 Vibração

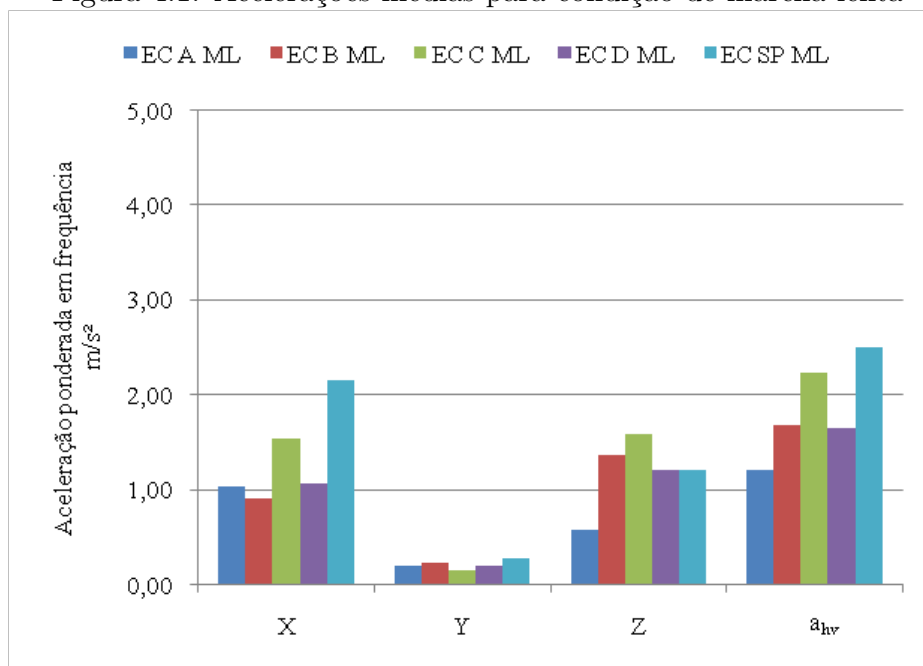
A vibração gerada pela derrigadora de café foi analisada em dois pontos distintos do equipamento, sendo eles: empunhadura central (EC) e empunhadura traseira (ET). Para cada ponto utilizou-se 5 condições de ensaio, ou seja, o equipamento foi ensaiado na condição sem ponteira e nas condições com 4 ponteiras distintas. Os resultados das medições estão apresentados nas figuras e tabelas a seguir e foram comparados com os valores citados na Capítulo 2.

4.2.1 Empunhadura central

A Figura 4.1 mostra os valores médios de aceleração referentes aos ensaios com as ponteiras A, B, C, D e sem ponteira, na condição de marcha lenta (ML) e com o acelerômetro instalado na empunhadura central (EC). Já a Figura 4.2 apresenta os valores de pico, ou seja, a maior aceleração encontrada para cada condição ensaiada.

Os dados estão apresentados de forma individual para os eixos X, Y e Z. Também são apresentados os valores de a_{hv} (aceleração resultante r.m.s), obtidos através da Equação 2.6.

Figura 4.1: Acelerações médias para condição de marcha lenta

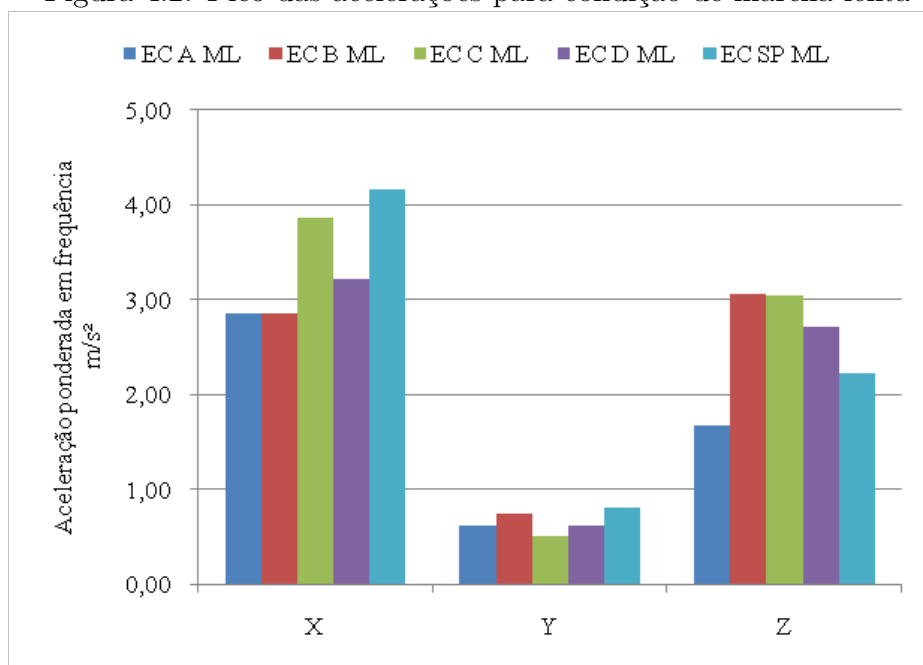


Para a empunhadura central em marcha lenta, tem-se os níveis de aceleração resultante em ordem crescente $A < D < B < C < SP$. A condição de ensaio sem ponteira

apresentou o valor mais alto de aceleração resultante, sugere-se a hipótese de que as ponteiros com menor massa tendem a deixar o sistema mais propício a vibração, dessa forma a carga na ponta da haste atua como elemento absorvedor.

Nota-se que a componente da aceleração no eixo Y, para todas as condições ensaiadas, apresentaram valores bem abaixo quando comparados aos eixos X e Z. Fato esse pode ser explicado pela forma como foi instrumentado o equipamento. Em marcha lenta a única fonte de vibração é motor 2 tempos, portanto é somente no plano Z-X que forças provenientes de algum desbalanceamento residual ou proveniente de uma combustão não homogênea do motor estão atuando.

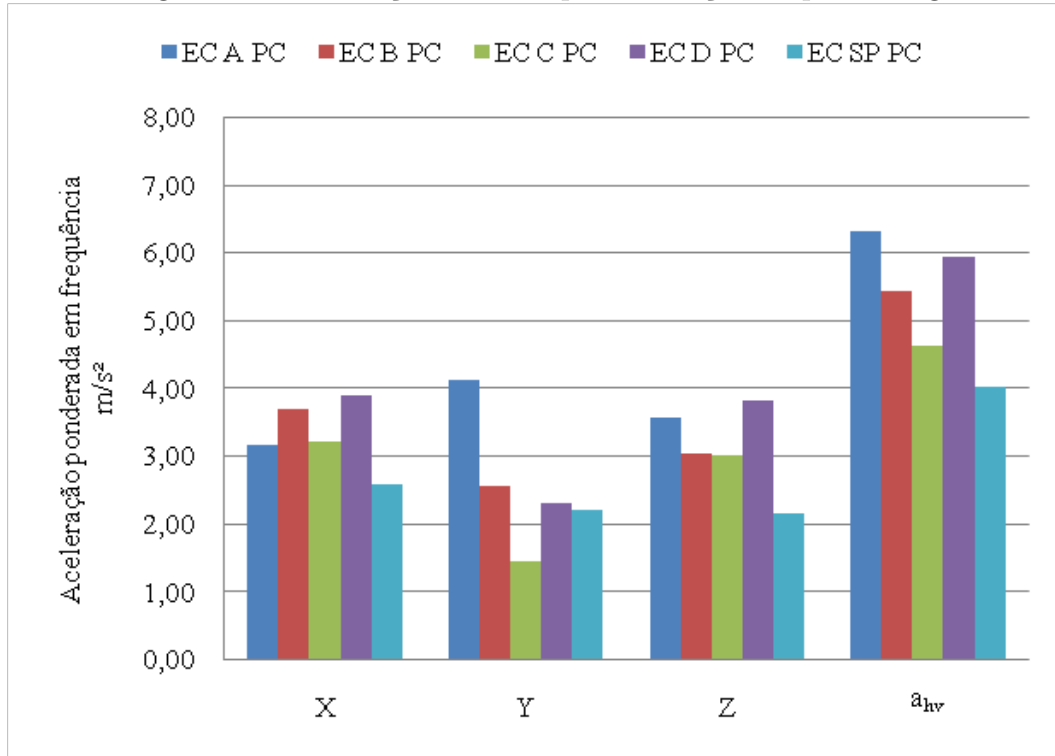
Figura 4.2: Pico das acelerações para condição de marcha lenta



Ao observar a Figura 4.2, a qual apresenta os valores de pico de aceleração em cada eixo, percebe-se que o comportamento num âmbito geral segue a mesma tendência dos valores de aceleração em r.m.s, visto que tais acelerações são calculadas utilizando também os valores de pico, no entanto, no eixo X a condição sem ponteira apresenta um pico de aceleração da ordem de 90% superior a aceleração no mesmo eixo. De fato o eixo X está mais suscetível a maiores níveis de aceleração, pois o mesmo apresenta um comportamento semelhante ao pêndulo em um plano, o qual consiste em uma massa puntiforme (derriçadora) presa a um fio inextensível (braço) que oscila em torno de um ponto fixo (ombro).

Para a condição de plena carga, cuja a instrumentação está localizada na empunhadura central tem-se os valores de aceleração r.m.s e os picos de aceleração apresentados na Figura 4.3 e Figura 4.4 respectivamente.

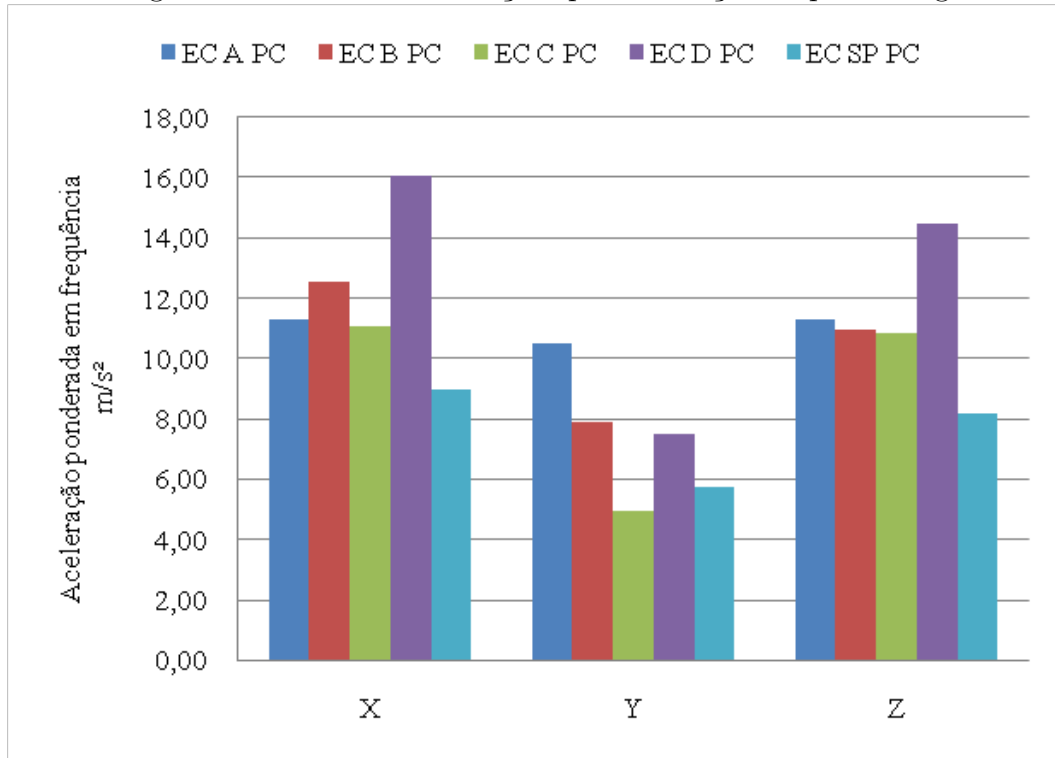
Figura 4.3: Acelerações médias para condição de plena carga



Comparando a Figura 4.3 com a Figura 4.1 notas-se que há uma aumento nos valores de aceleração r.m.s cerca de 420% para a ponteira A, 222,8% para a ponteira B, 107,84% para a ponteira C, 258,23% com a ponteira D e 60% para condição ensaiada sem ponteira. Esse fato é explicado pelo aumento da rotação do motor e principalmente pelo surgimento de novas fontes de vibração, sendo o cabo flexível e a ponteira. Vale ressaltar que a condição "ECSPPC"foi a que apresentou um menor percentual de aumento na aceleração, o motivo é a ausência da vibração induzida pela ponteira.

Os valores de pico são bastante significativos em relação a aceleração r.m.s isso pode ser notado tanto na condição de marcha lenta (Figura 4.2) como na condição de plena carga (Figura 4.4), tais valores indicam níveis de impacto de curta duração e são explicados principalmente pela característica do motor, bem como a dinâmica de funcionamento das ponteira.

Figura 4.4: Pico das acelerações para condição de plena carga



A ISO 5349 (2001) em seu anexo A, sugere uma relação entre a exposição acumulada a VMB e o tempo para aparecimento dos sintomas da síndrome dos "dedos brancos". A seguir na Tabela 4.2 os valores calculados para a condição de marcha lenta e plena carga para a empunhadura central são apresentados.

Tabela 4.2: Estimativa do tempo D_y

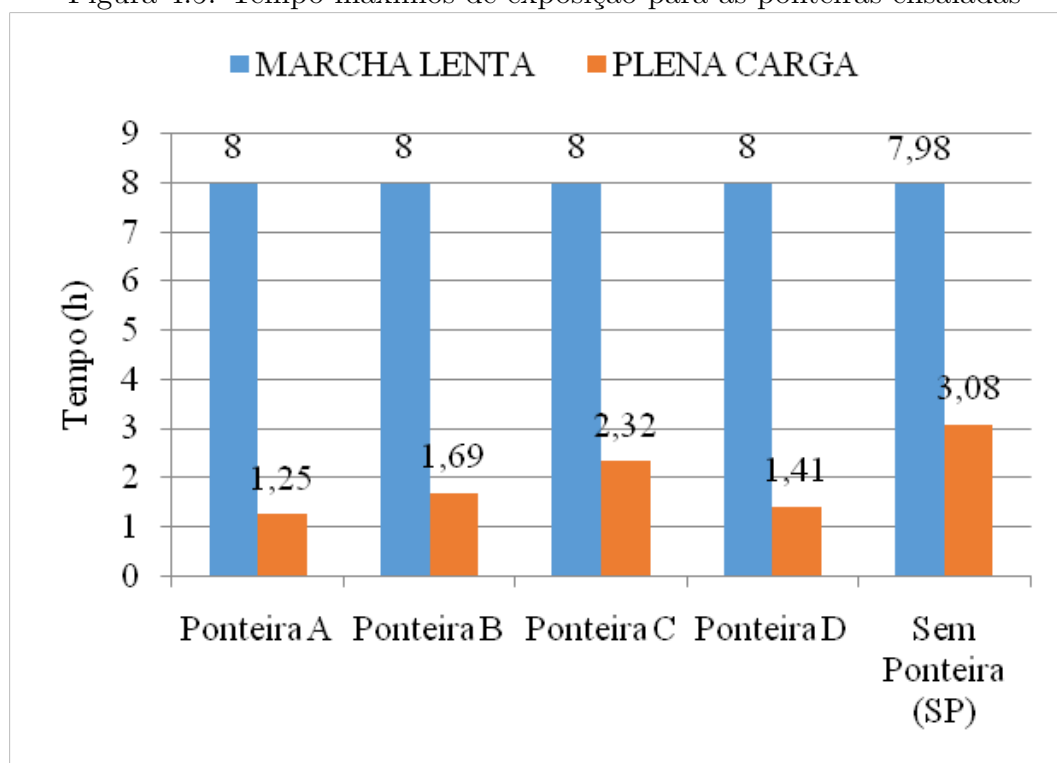
Empunhadura Central							
Plena carga				Marcha lenta			
Ponteira	$a_{hv}(m/s^2)$	$D_y(anos)$	$T_l(h)$	Ponteira	$a_{hv}(m/s^2)$	$D_y(anos)$	$T_l(h)$
A	6,32	4,50	1,25	A	1,21	25,98	33,9
B	5,43	5,29	1,69	B	1,68	18,35	17,67
C	4,63	6,26	2,32	C	2,23	13,59	10,05
D	5,94	4,81	1,41	D	1,66	18,58	18,19
SP	4,02	7,28	3,08	SP	2,5	12,04	7,98

Através da tabela é possível notar que em marcha lenta, os primeiros sintomas da síndrome dos "dedos brancos" irão aparecer com pouca mais de 13 anos de operação com a derriçadora (ponteira C). Esse tempo é muito menor quando o equipamento é

operado em plena carga, os primeiros sintomas podem vir a aparecer dentro de 4,5 anos utilizando a ponteira A. Observando a Tabela 4.2 os valores de aceleração r.m.s (a_{hv}) na condição de plena carga não atendem a exigências da NHO-10, a qual menciona que para uma jornada de 8 h os níveis de vibração devem estar abaixo de $2,5 \frac{m}{s^2}$. Portanto se faz necessário a adoção de medidas preventivas corretivas visando a redução deste fenômeno

Os tempo de limites de exposição calculados em função do nível de ação também são apresentados na Tabela 4.2. Para plena carga os valores médios do tempo limite (T_l) indicam que para efeitos de segurança, o operador só poderá manusear a derriçadora com a ponteira A, cerca de por 75 *minutos* por dia. Já em marcha lenta o operador pode manusear o equipamento durante toda a jornada padrão de trabalho. Um comparativo dos tempos máximos de exposição para cada ponteira é apresentado na Figura 4.5.

Figura 4.5: Tempo máximos de exposição para as ponteiras ensaiadas



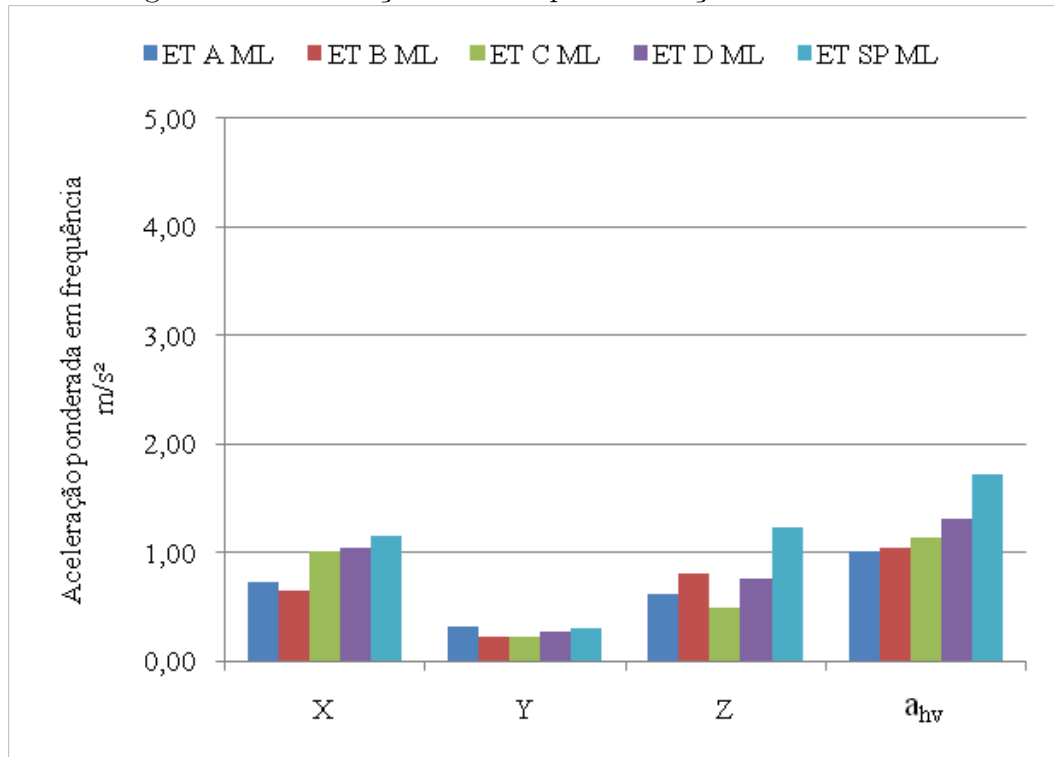
4.2.2 Empunhadura traseira

Para a derriçadora instrumentada com o acelerômetro na empunhadura traseira (ET), tem-se os resultados apresentados abaixo de modo a facilitar à análise do comportamento de cada ensaio. A Figura 4.6 apresenta os valores médios de aceleração

referentes aos ensaios com as ponteiras A, B, C, D e sem ponteira na condição de marcha lenta (ML). Também são apresentados os valores de pico, ou seja, os valores de máxima aceleração encontrados em cada condição ensaiada nos eixos X, Y e Z.

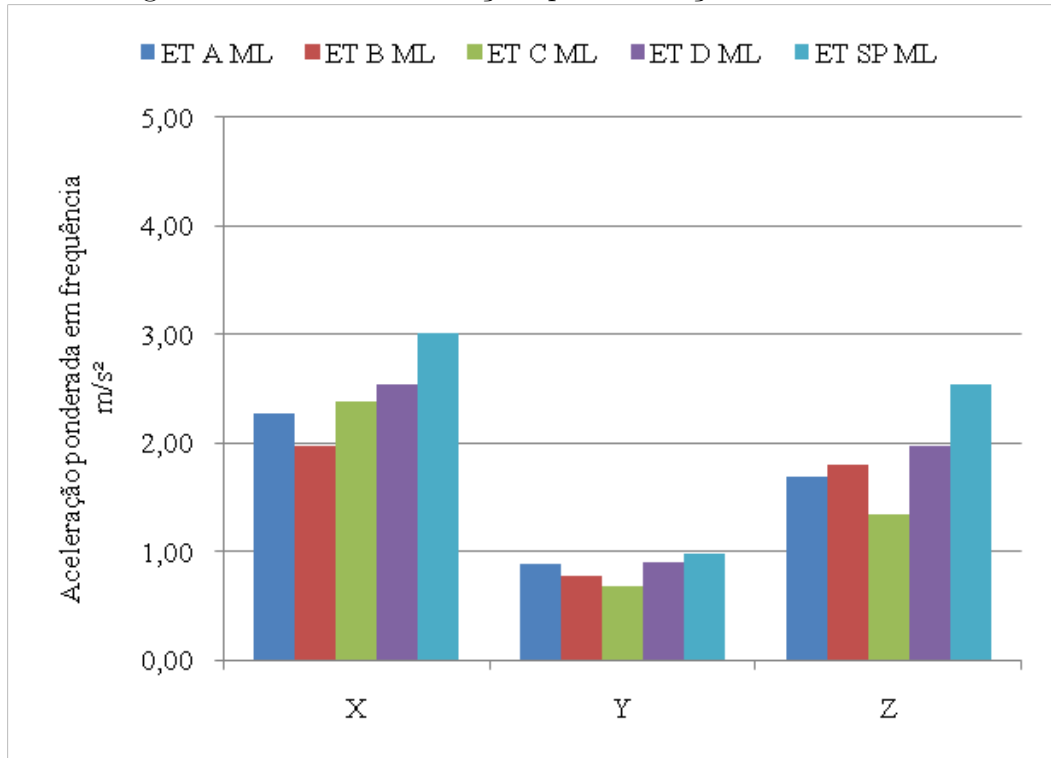
Analisando a Figura 4.6, nota-se o comportamento bastante similar ao encontrado nos ensaios na empunhadura central para a mesma condição, onde os valores no eixo Y são menores em relação aos demais. e a condição ensaiada sem ponteira apresenta maiores níveis de aceleração r.m.s, chegando a $1,72 \frac{m}{s^2}$.

Figura 4.6: Acelerações médias para condição de marcha lenta



A empunhadura traseira encontra-se fixada logo após a fonte principal de vibração do equipamento, o motor, e à 750 mm da empunhadura central. Observando os resultados tem-se que as acelerações na empunhadura traseira apresentaram valores inferiores comparadas as mesmas condições porém na empunhadura central, pressupõe-se que o fato do motor ter uma quantidade de massa relativamente maior do que a haste, sugere a condição de vibração de uma haste engasta e portanto uma vez que nessa condição o deslocamento no ponto mais distante do engaste é maior, tem-se um aumento nos níveis de acelerações resultante.

Figura 4.7: Pico de acelerações para condição de marcha lenta



Segundo as normas utilizadas, são os níveis de aceleração r.m.s que indicam o potencial de lesão dos equipamentos manuseados pelos operadores, no entanto nota-se na Figura 4.2 e na Figura 4.7 que os valores de pico podem ultrapassar níveis maiores do que $4\frac{m}{s^2}$, mesmo na condição de marcha lenta, o que de fato sugere ao menos medidas preventivas visando a redução da exposição diária do trabalhador, uma vez que os picos de aceleração sugerem uma carga de choque.

Observa-se que a empunhadura traseira na condição de plena carga apresenta níveis de aceleração resultantes que variam na ordem de $6,49\frac{m}{s^2}$ a $7,78\frac{m}{s^2}$, valores esses muito acima do que preconiza a norma. Como já mencionado o aumento nos níveis de aceleração são devido as 3 fontes de excitações, inerentes nesse tipo de equipamento.

Fazendo o cruzamento dos dados da Figura 4.6 e Figura 4.8 nota-se o comportamento inverso ao encontrado na condição de marcha lenta, entretanto fato sugere que frequências de excitações mais altas fazem com que a vibração seja absorvida aos arredores da fonte emissora, ou seja, na empunhadura traseira.

Figura 4.8: Acelerações médias para condição de plena carga

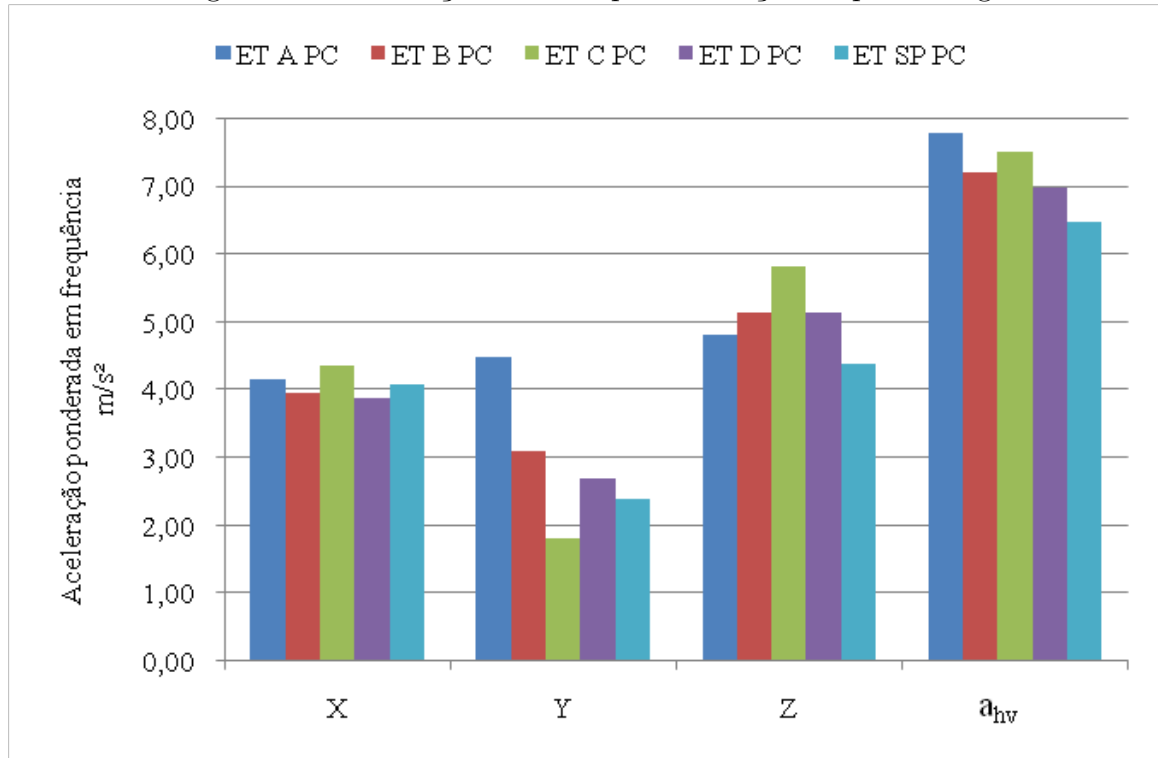
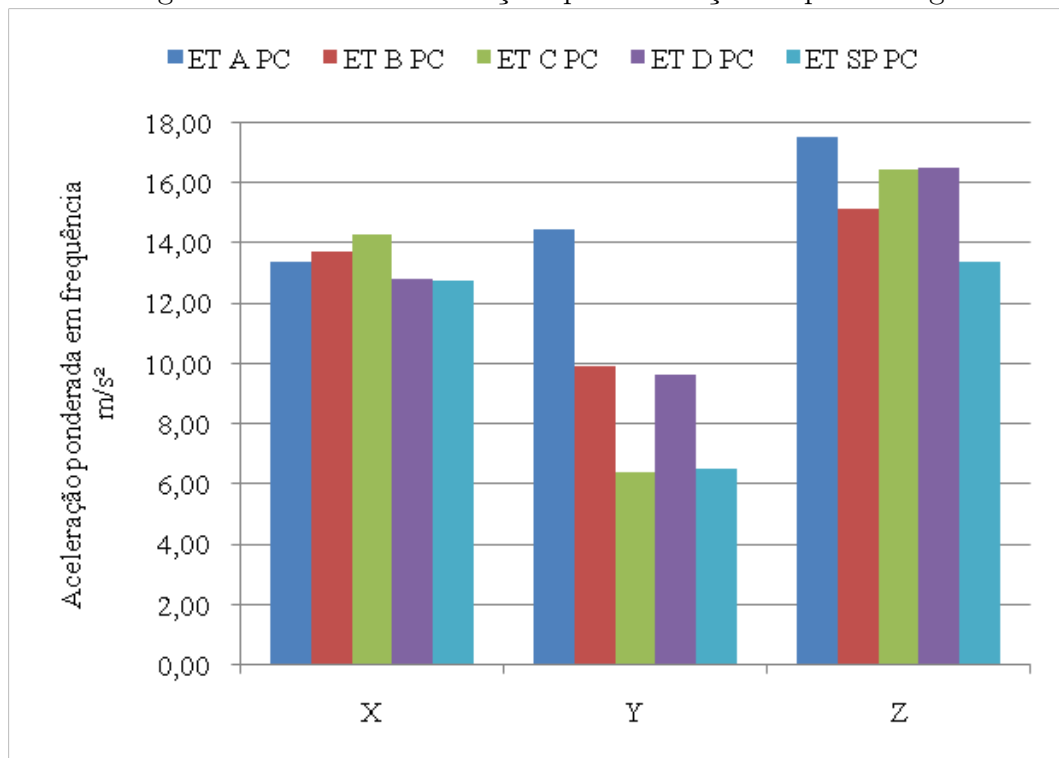


Figura 4.9: Pico de acelerações para condição de plena carga



Avaliando os valores de pico, apresentados na Figura 4.9, constata-se o grande potencial destrutivo gerado através dos altos níveis de aceleração r.m.s. Tem-se valores da ordem de 600% maiores em relação ao que preconizam as normas aqui citadas. A

alta rotação do motor é a principal causa deste fenômeno, somadas a essa causa tem-se a contribuição dos altos níveis de oscilações da ponteira, bem como, a rotação do cabo flexível dentro da haste. Atribui-se ao cabo flexível uma parcela percentualmente baixa de contribuição nos níveis de aceleração, quando comparado as demais fontes.

A Tabela 4.3 apresenta um resumo das acelerações r.m.s encontradas em todos os ensaios realizados na empunhadura traseira da derriçadora, bem como o tempo limite (T_l) de exposição diária em função do nível de ação estabelecido pela Directive European 2002/44/EC (2002) e uma estimativa do tempo para o surgimento de sintomas da síndrome dos "dedos brancos", proposta pela ISO 5349 (2001).

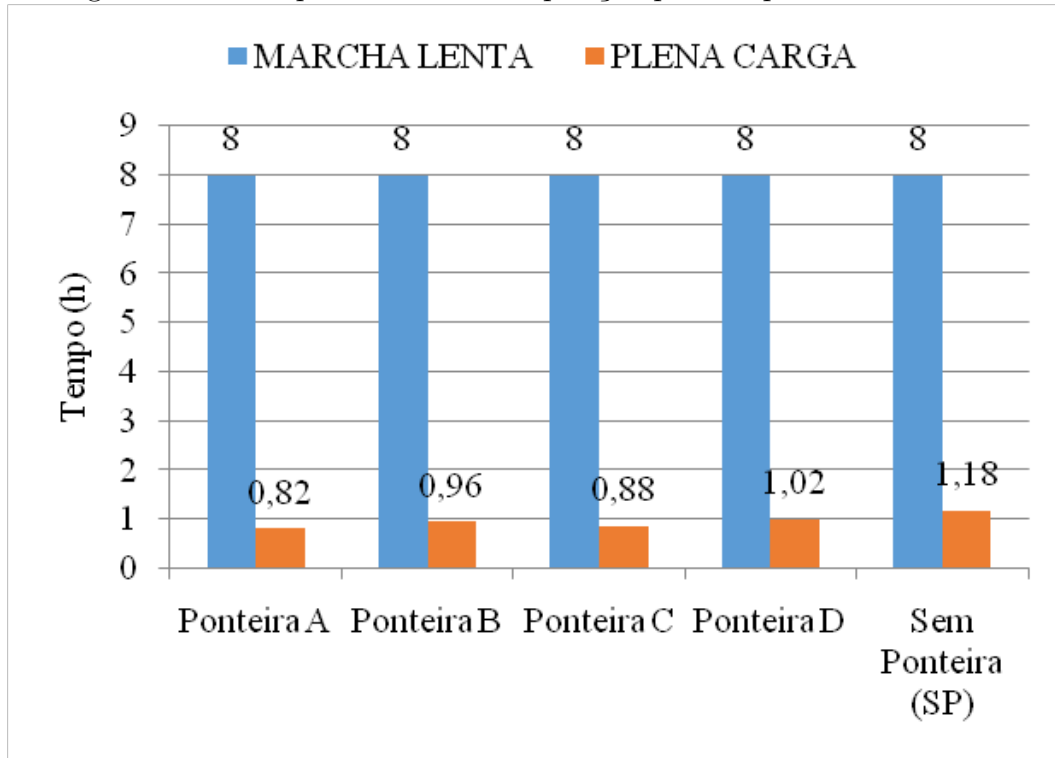
Tabela 4.3: Estimativa do tempo para surgimento de sintomas

Empunhadura traseira							
Plena carga				Marcha lenta			
Ponteira	$a_{hv}(m/s^2)$	$D_y(anos)$	$T_l(h)$	Ponteira	$a_{hv}(m/s^2)$	$D_y(anos)$	$T_l(h)$
A	7,78	3,61	0,82	A	1,01	31,47	49,28
B	7,21	3,92	0,96	B	1,05	30,20	45,08
C	7,5	3,76	0,88	C	1,14	27,68	38,32
D	6,99	4,05	1,02	D	1,32	23,69	28,80
SP	6,49	4,38	1,18	SP	1,72	17,90	16,89

Sabe-se que em pequenas propriedades agrícolas é corriqueira a carga horária de trabalho superior a 8 h, mesmo porque na grande maioria os proprietários são os próprios operadores das máquinas. Uma análise qualitativa de um operador em processo de derriça sugere que a maior parte do tempo o equipamento opera em condições de plena carga e portanto ao avaliar-se os resultados da Tabela 4.3 tem-se que em pouco tempo de uso, os operadores de derriçadoras podem vir a ter os primeiros indícios do surgimento da síndrome do "dedo branco" e o tempo diário de utilização em função dos valores é aceleração r.m.s obtidos é em torno de 1 h.

Na Figura 4.10 nota-se que o tempo de exposição do operador manuseando a derriçadora em plena carga é consideravelmente inferior quando comparado a condição de marcha lenta. Portanto fica bastante evidente os altos níveis de vibração gerados pelo equipamento na condição de trabalho.

Figura 4.10: Tempo máximos de exposição para as ponteiras ensaiadas



4.2.3 Manopla Absorvedora

Como mencionado na Seção 3.2, após a realização dos ensaios com o equipamento original de fábrica, alterando-se apenas o tipo das ponteiras realizou-se os ensaios mantendo os mesmos parâmetros, porém agora utilizando o elemento isolador desenvolvido, denominado manopla absorvedora. A Tabela 4.4 traz um comparativo para a condição de marcha lenta usando a manopla absorvedora e a empunhadura original de fábrica ambas ensaiadas na empunhadura traseira.

Tabela 4.4: Comparativo: Manopla empunhadura traseira x Empunhadura traseira

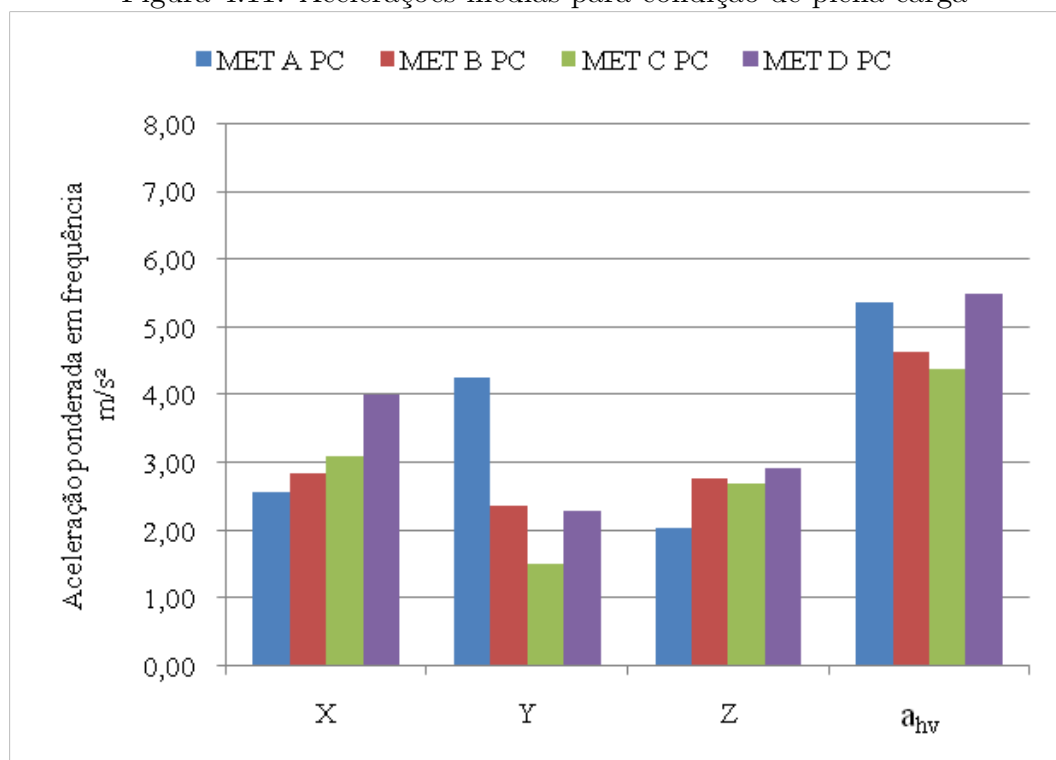
Manopla empunhadura traseira				Empunhadura traseira			
Marcha lenta				Marcha lenta			
Ponteira	$a_{hv}(m/s^2)$	$D_y(anos)$	$T_l(h)$	Ponteira	$a_{hv}(m/s^2)$	$D_y(anos)$	$T_l(h)$
A	0,91	35,14	59,84	A	1,01	31,47	49,28
B	1,15	27,42	38,07	B	1,05	30,20	45,08
C	1,49	20,84	22,40	C	1,14	27,68	38,32
D	0,98	32,49	52,09	D	1,32	23,69	28,80

O uso da manopla absorvedora para a condição de marcha lenta, acarretou na redução da aceleração resultante em duas situações, sendo elas com a ponteira A (10,99%) e com a ponteira D (34,69%), no entanto com a ponteira B e ponteira C houve um aumento na aceleração de 8,7% e 23,49% respectivamente. Nesta condição, segundo as normas citadas, o operador pode manusear o equipamento durante toda a jornada de trabalho, sem que haja a preocupação do surgimento precoce dos sintomas relacionados a síndrome dos "dedos brancos".

Nas condições de marcha lenta, todas as acelerações resultantes obtidas estão abaixo dos níveis de ação previsto pela (DIRECTIVE EUROPEAN 2002/44/EC, 2002), no entanto há a necessidade de se manter a condição existe, ou seja, manutenções periódicas devem ser realizadas, segundo a NHO10.

A seguir a Figura 4.11 e a Figura 4.11 apresentam os valores encontrados para a condição de plena carga, utilizando a manopla absorvedora. O comportamento das aceleração é bastante similar aos ensaios anteriores, onde o eixo Y é o que apresenta os menores níveis de aceleração.

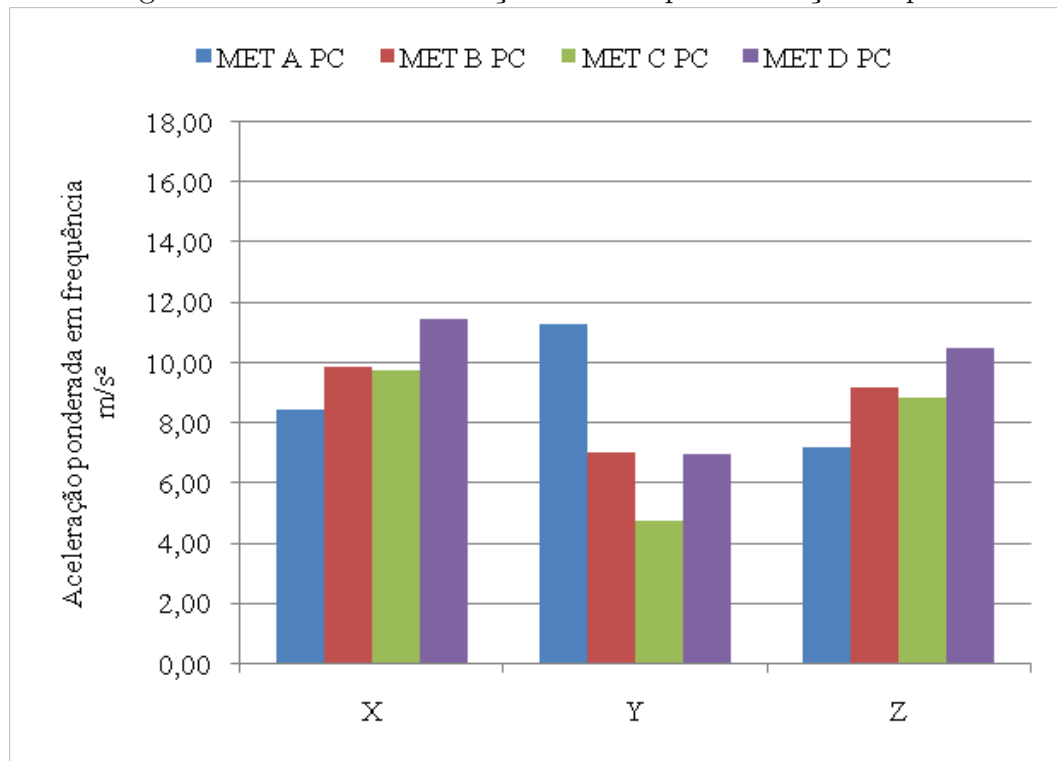
Figura 4.11: Acelerações médias para condição de plena carga



Pode-se afirmar com base nos resultados apresentados na figuras (Figura 4.11 e Figura 4.11) anteriores que para todas as condições ensaiadas, as acelerações resultantes

obtidas com a derrigadora ultrapassam o nível de ação, imposto pela Directive European 2002/44/EC (2002). Para a NHO10 as ações recomendadas são à adoção imediata de medidas corretivas para níveis acima de $5,0m\frac{m}{s^2}$ e adoção de medidas preventivas corretivas visando à redução da exposição diária.

Figura 4.12: Pico de acelerações médias para condição de plena



Da forma como foi instrumentado o equipamento, a norma ISO 5349 (2001) sugere o eixo Z como sendo o mais crítico para saúde ocupacional do operador, portanto observando essa condição na Figura 4.9 e na Figura 4.12 nota-se uma redução de 58,93%, 39,15%, 46,27% e 36,35% para a ponteira A, B, C e D respectivamente. Ao fazer uma análise dos valores de pico para os ensaios com a manopla absorvedora fica evidente a diminuição da aceleração em todos os eixos e consequentemente na aceleração resultante.

Numa âmbito global das condições ensaiadas com a manopla absorvedora, tem-se que os dados apresentam uma baixa dispersão e observando a mediana é possível inferir que há uma boa simetria nos dados coletados, ou seja, não há presença de muitos *outliers*. A Tabela 4.5 e permite fazer-se o cruzamento dos resultados entre as duas condições ensaiadas.

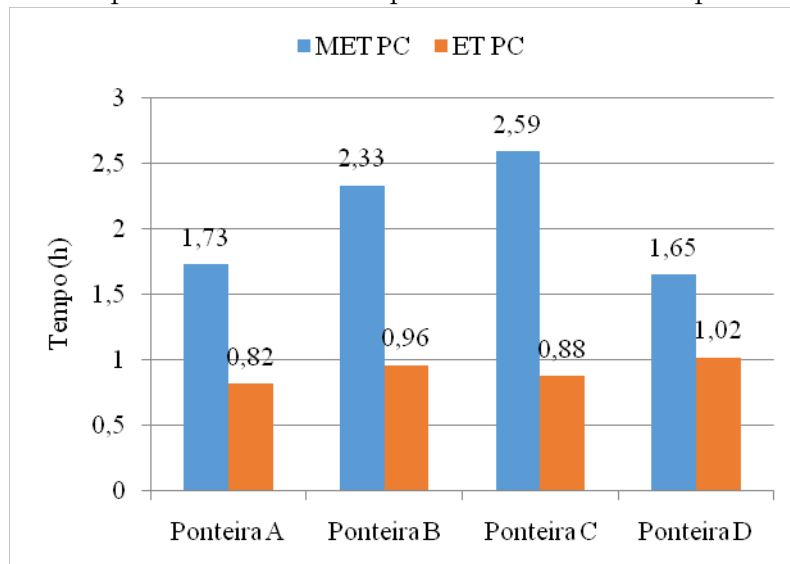
Tabela 4.5: Comparativo: Manopla empunhadura traseira x Empunhadura traseira

Manopla empunhadura traseira				Empunhadura traseira			
Plena carga				Plena carga			
Ponteira	$a_{hv}(m/s^2)$	$D_y(anos)$	$T_l(h)$	Ponteira	$a_{hv}(m/s^2)$	$D_y(anos)$	$T_l(h)$
A	5,38	5,34	1,73	A	7,78	3,61	0,82
B	4,63	6,26	2,33	B	7,21	3,92	0,96
C	4,39	6,63	2,59	C	7,5	3,76	0,88
D	5,5	5,22	1,65	D	6,99	4,05	1,02

Apesar dos níveis altos, é possível ver claramente que o uso da manopla absorvedora proporcionou um decremento na magnitude das acelerações ponderadas, para todas as ponteiros. Essa redução é da ordem de 21,32% para a ponteira D, 30,84% para a ponteira A, 35,78% para a ponteira B e 41,47% para a ponteira C. Essas reduções implicam no aumento do tempo limite (T_l) da jornada diária do operador bem como aumentam o tempo (D_y) em que se estipula o surgimento de sintomas da síndrome dos "dedos brancos"

A Figura 4.13 apresenta um comparativo entra as condições de plena carga na empunhadura traseira versus a utilização da manopla absorvedora. Nota-se que um aumento significativo no tempo limite de exposição, ou seja, a manopla possibilita ao operador manusear a derrigadora por um período mais prolongado.

Figura 4.13: Comparativo entre Manopla Absorvedora e Empunhadura traseira



As condições de plena carga e marcha lenta, são vivenciadas pelo operador da derriçadora de forma intermitente, ou seja, durante a colheita há variação da rotação do motor desde a condição marcha lenta, quando o operador esta trocando de cafeeiro, até a condição de plena carga, quando o mesmo está fazendo a derriça. Essas situações quando somadas podem ter efeitos consideráveis sobre a saúde ocupacional do operador.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi feito uma análise da vibração e ruído em uma derriçadora manual de café e avaliação de uma manopla absorvedora desenvolvida. Das condições ensaiadas pode-se dizer que a vibração e o ruído estão presentes durante o manuseio da derriçadora. Para o ruído, os níveis de pressão sonora encontrados para a condição de plena carga, extrapolam o que é previsto pela norma vigente no país. Já a vibração, os níveis encontrados nas empunhaduras do equipamento variam com a condição de operação, no entanto quando o equipamento está operando em plena carga os níveis de vibração na empunhadura central e traseira, ultrapassam os níveis de ação, ou seja, não atendem o que é preconizado pelas normas vigentes como níveis aceitáveis.

Os resultados obtidos mostraram que para condição de marcha lenta, a derriçadora apresentou níveis aceitáveis de vibração e ruído. No entanto a introdução de elementos isoladores faz-se necessário, principalmente na condição de plena carga. Além disso tem-se as seguintes conclusões:

- A derriçadora em plena carga apresenta 3 fontes de vibração, sendo o motor a combustão a principal fonte, o cabo flexível de transmissão e a ponteira.
- A massa do equipamento é um grande fator de desconforto durante a operação da derriçadora.
- Na empunhadura traseira foram encontradas as maiores magnitudes de vibração, os resultados sugerem a hipótese de que por estar mais próximo a fonte principal de vibração, grande parte da energia é absorvida nos arredores da fonte;

- Os ensaios sem ponteira sugerem que, em marcha lenta, a massa das ponteiras ajudam a manter níveis de vibrações mais baixos, já em condição de plena carga a massa da ponteira tem uma influência bem menos significativa, na empunhadura central
- A média dispersão encontrada nos ensaios em marcha lenta, sugere como hipótese de causa, o regime de funcionamento do motor, uma vez que a queima do combustível não se dá de maneira homogênea e o escape dos gases não ocorre da mesma forma como em plena carga. A massa das ponteiras também contribuem para o aumento da dispersão;
- Os primeiros sintomas da síndrome dos "dedos brancos", podem aparecer em poucos anos de utilização da derriçadora;
- Para a condição de plena carga a manopla absorvedora proporcionou uma redução da aceleração resultante que ficou entre 21,32% e 41,47%. O diâmetro utilizado proporcionou um bom manuseio do equipamento, dificultando a condição de aumento da força de preensão;
- Para a condição de marcha lenta, os ensaios com a manopla absorvedora, resultaram em alguns casos, no aumento da aceleração. No entanto esse aumento não fez com que os níveis de ação fossem atingidos.

Para o ruído, tem-se que o princípio de funcionamento das ponteiras acarretam no aumento dos níveis de ruído gerados pela derriçadora, no entanto a principal fonte de ruído é o motor a combustão interna. Diversos estudos mostram a eficiência de silenciadores em motores a combustão interna, portanto uma melhoria de projeto pertinente.

A fim de reduzir a chances de surgimento de distúrbios induzidos por vibrações e ruído e propiciar um aumento no desempenho dos trabalhadores durante a operação com a derriçadora, os fabricantes devem considerar a utilização de isoladores de vibração, sistemas de amortecimento bem como os princípios de ergonomia em ferramentas manuais.

Capítulo 6

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por este trabalho apresentar grande margem de aplicabilidade, e considerando-se sua complexidade e diversas ramificações, nesta seção são apresentadas algumas sugestões para pesquisas futuras, as quais se encontram a seguir:

- Projetar um dispositivo para fixação e avaliação das aceleração nas diferentes direções;
- Avaliar o desempenho da manopla absorvedora na empunhadura central da derriçadora
- Avaliar a influência da ponteira e do motor sobre a aceleração em derriçadoras manuais
- Implementação de isoladores de vibração nas fontes de vibração em derriçadoras manuais
- Avaliar a propagação da vibração em diferentes comprimentos de haste e diferentes materias.
- Avaliar o comportamento da manopla absorvedora em outras ferramentas manuais motorizadas.

Referências Bibliográficas

AATOLA, S. Transmission of vibration to the wrist and comparison of frequency response function estimators. *Journal of Sound and Vibration*, Elsevier, v. 131, n. 3, p. 497–507, 1989.

ADEWUSI, S.; THOMAS, M.; VU, H. Natural frequencies of the hand-arm system using finite element method. In: *Proceedings of the 4th American Conference on Human Vibration, Hartford, Connecticut, USA*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 17–18.

ANSI-S1.25. *ANSI S1.25: Specification for Personal Noise Dosimeters*. [S.l.], 1991.

BARBOSA, J. A.; SALVADOR, N.; SILVA, F. M. da. Desempenho operacional de derrigador de derrigadores mecânicos portáteis es mecânicos portáteis es mecânicos portáteis, em diferentes condições de la entes condições de la entes condições de lavouras cafeeir as cafeeir as cafeeiras. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, SciELO Brasil, v. 9, n. 1, p. 129–132, 2005.

BERNARDI, A. P. d. A.; FIORINI, A. C.; COSTA, E. A. d.; IBAÑEZ, R. N.; SENA, T. R. R. *Perda auditiva induzida por ruído (Pair)*. [S.l.], 2005.

BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. [S.l.]: Edgard Blücher, 2006.

BONAIUTI, E.; CINI, E.; PEGNA, F. G. Improving coffee production in small and medium farms in veracruz, mexico with the use of pneumatic equipment. *Agriculture and Environment for International Development*, 2008.

BOVENZI, M. Exposure-response relationship in the hand-arm vibration syndrome: an overview of current epidemiology research. *International archives of occupational and environmental health*, Springer, v. 71, n. 8, p. 509–519, 1998.

BOVENZI, M. Health effects of mechanical vibration. *G Ital Med Lav Ergon*, v. 27, n. 1, p. 58–64, 2005.

BOVENZI, M.; LINDSELL, C. J.; GRIFFIN, M. J. Acute vascular responses to the frequency of vibration transmitted to the hand. *Occupational and environmental medicine*, BMJ Publishing Group Ltd, v. 57, n. 6, p. 422–430, 2000.

BRASIL. *NORMA REGULAMENTADORA Nº15*. 2018. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-15-Anexo-01.pdf>.

BROCH, J. T. *Mechanical Vibration and Shock Measurements*. Bruel & Kjaer, 1984. ISBN 8787355345. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Mechanical-Vibration-Shock-Measurements-Trampe/dp/8787355361?SubscriptionId=AKIAIOBINVZYXZQZ2U3A&tag=chimbori05-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=8787355361>>.

- ÇAKMAK, B.; SARAÇOĞLU, T.; ALAYUNT, F. N.; ÖZARSLAN, C. Vibration and noise characteristics of flap type olive harvesters. *Applied Ergonomics*, Elsevier, v. 42, n. 3, p. 397–402, 2011.
- CALVO, A.; DEBOLI, R.; PRETI, C.; MARIA, A. D. Daily exposure to hand arm vibration by different electric olive beaters. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 45, n. 3, p. 103–110, 2014.
- CARVALHO, L. T. d.; QUEIROZ, D. M. d.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Desenvolvimento de uma derrigadora portátil para colheita de café. 2000.
- CATANIA, P.; BONO, F.; VALLONE, M. Evaluation of the vibrations transmitted to the hand-arm system in the use of portable harvesters for olives. *AgricEngInt*, v. 19, n. 2, p. 129 – 138, ago. 2017.
- CERRUTO, E.; MANETTO, G.; SCHILLACI, G. Vibration produced by hand-held olive electrical harvesters. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 43, n. 2, p. 12, 2012.
- CHERNG, J. G.; EKSIOGLU, M.; KIZILASLAN, K. Vibration reduction of pneumatic percussive rivet tools: mechanical and ergonomic re-design approaches. *Applied ergonomics*, Elsevier, v. 40, n. 2, p. 256–266, 2009.
- CHUNG, D. Materials for vibration damping. *Journal of materials science*, Springer, v. 36, n. 24, p. 5733–5737, 2001.
- CIRO, H. Coffee harvesting i: determination of the natural frequencies of the fruit stem system in coffee trees. *Applied Engineering in Agriculture*, AMER SOC AGRICULTURAL ENGINEERS 2950 NILES RD, ST JOSEPH, MI 49085-9659 USA, v. 17, n. 4, p. 475–479, 2001.
- CUNHA, J.; FERNANDES, H.; BARBOSA, J. Avaliação dos níveis de ruído emitidos por derrigadoras portáteis para colheita de café. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*. [S.l.: s.n.], 2002. v. 31.
- EMBRAPA. *Cafeicultura ocupa menos de 1% da área explorada pela produção agrícola no Brasil*. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32238410/cafeicultura-ocupa-menos-de-1-da-area-explorada-pela-producao-agricola-no-brasil>.
- EUROPEAN PARLIAMENT. *Directive European 2002/44/EC*: Idirective 2002/44/ec of the european parliament and the council of 25 june 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration)(sixteenth individual directive within the meaning of article 16 (1) of directive 89/391/eec). European Union, 2002. 12 p.
- EVEREST FREDERICK ALTON; POHLMANN, K. C. *Master handbook of acoustics*. Sixth edition. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2014. ISBN 9780071841030,0071841032,9780071841047,0071841040.
- FAYA, J.; HONDA, A.; SARTORI, S.; BASTOS, M. Eficiência da colheita mecânica nas variedades mundo novo e catuaí em diferentes condições de lavoura. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, RIO DE JANEIRO (BRASIL). *7. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras 4-7 Dic 1979 Araxá, MG (Brasil)*. [S.l.], 1979.
- FERNANDES, J. C. Acústica e ruídos. *Bauru: Unesp*, v. 102, 2002.

- FRANKS, J. R.; MERRY, C. *et al. Preventing occupational hearing loss: a practical guide*. [S.l.]: US Dept. of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for ... , 1996.
- FUNDACENTRO. *NHO 10-Procedimento Técnico-Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços*. 2012.
- GARCIA, A.; FIORAVANTE, N. Efeito do uso de derriçadoras de café portáteis na produtividade do cafeeiro no ano seguinte. In: *Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*. [S.l.: s.n.], 2002. v. 28, p. 51.
- GEMNE, G. Diagnostics of hand-arm system disorders in workers who use vibrating tools. *Occupational and Environmental Medicine*, BMJ Publishing Group Ltd, v. 54, n. 2, p. 90–95, 1997.
- GIERKE, H. E. von; BRAMMER, A. J. Harris' shock and vibration handbook. In: _____. [S.l.]: Mcgraw-hill New York, 2002. v. 5, cap. Introduction to the handbook, p. 1–27.
- GOEL, V. K.; RIM, K. Role of gloves in reducing vibration: An analysis for pneumatic chipping hammer. *American Industrial Hygiene Association Journal*, American Industrial Hygiene Association, v. 48, n. 1, p. 9–14, 1987.
- GRIFFIN, M. J. *Handbook of human vibration*. [S.l.]: Academic press, 1990.
- GRIFFIN, M. J. Evaluating the effectiveness of gloves in reducing the hazards of hand-transmitted vibration. *Occupational and environmental medicine*, BMJ Publishing Group Ltd, v. 55, n. 5, p. 340–348, 1998.
- GRIFFIN, M. J. Measurement, evaluation, and assessment of peripheral neurological disorders caused by hand-transmitted vibration. *International archives of occupational and environmental health*, Springer, v. 81, n. 5, p. 559–573, 2008.
- GURRAM, R.; RAKHEJA, S.; GOUW, G. J. Vibration transmission characteristics of the human hand-arm and gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier, v. 13, n. 3, p. 217–234, 1994.
- HARONA, Z.; DARUSA, N.; HANA, L. M.; JAHYAA, Z.; HAMIDA, M. F. A.; YAHYAA, K.; LEEA, Y. L.; SHEKB, P. N. Apreliminary study of occupational noise exposure among leaf blower and grass cutter workers in public university. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 77 (16): 153, v. 159, 2015.
- HARRIS, C. M. Harris' shock and vibration handbook. In: _____. [S.l.]: Mcgraw-hill New York, 2002. v. 5, cap. Introduction to the handbook, p. 1–27.
- HARRIS, C. M. Harris' shock and vibration handbook. In: _____. [S.l.]: Mcgraw-hill New York, 2002. v. 5, cap. Introduction to the handbook, p. 1–27.
- HUTTON, S.; PARIS, N.; BRUBAKER, R. The vibration characteristics of chain saws and their influence on vibration white finger disease. *Ergonomics*, Taylor & Francis, v. 36, n. 8, p. 911–926, 1993.
- IIDA, I. Ergonomia–projeto e produção. são paulo: Edgard blücher ltda. ilo-international labour organization. *Good practices in labour inspection-The rural sector with special attention to agriculture*. ILO Geneva, 2012.

INSTRUTHERM. *Dosímetro*. 2019. Disponível em: <https://www.instrutherm.net.br/dosimetro-mod-dos-600.html#product_tabs_fornecidos>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO5349*: Mechanical vibration – measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. Geneva, 2001. 42 p.

JUNIOR, P. M. O ruído industrial e sua regulamentação nacional e internacional. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 1998.

KUIJT-EVERS, L. F.; GROENESTELIJN, L.; LOOZE, M. P. de; VINK, P. Identifying factors of comfort in using hand tools. *Applied Ergonomics*, Elsevier, v. 35, n. 5, p. 453–458, 2004.

KUMAR, S. *Biomechanics in ergonomics*. [S.l.]: CRC Press, 2007.

MAKITA. *Derriçadora elétrica para colheita de azeitona*. 2019. Disponível em: <<http://www.makita.com.br/produtos/produto.asp?cod=BHL360Z>>.

MANETTO, G.; CERRUTO, E. Vibration risk evaluation in hand-held harvesters for olives. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 44, n. 2s, 2013.

MANSFIELD, N. J. *Human response to vibration*. [S.l.]: CRC press, 2004.

MATIELLO, J.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.; ALMEIDA, S.; FERNANDES, D. *Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações*. [S.l.], 2005.

MEDURI, M. Acústica e controle de ruído industrial. *Apostila do Curso de Especialização em Engenharia Ambiental–FEQ/UNICAMP*. Campinas: CPDEC, 2000.

MESQUITA, C.; REZENDE, J.; CARVALHO, J.; JÚNIOR, M. F.; MORAES, N.; DIAS, P.; CARVALHO, R.; ARAÚJO, W. Manual do café: Colheita e preparo (coffea arabica l.). *Belo Horizonte: EMATER-MG*, 2016.

MILCZAREK, M.; SCHNEIDER, E.; GONZÁLEZ, E. European risk observatory report. *Luxembourg: European Agency for Safety and Health at Work*, 2009.

MITRA, A. C.; DESAI, A.; BHARATE, A.; RANE, V.; GHOLAP, S. Experimental vibration analysis of isolator material on hand-handle interface for chopsaw machine. *Materials Today: Proceedings*, Elsevier, v. 5, n. 2, p. 5438–5444, 2018.

NIPO SANTO AMARO. *Derriçadora à combustão para colheita de café*. 2019. Disponível em: <<https://www.niposantoamaro.com.br/agricola-e-forca/derricadeiras-de-cafe/derricadeira-nakashi-dc-332m>>.

NORTON, M. P.; KARCZUB, D. G. *Fundamentals of noise and vibration analysis for engineers*. [S.l.]: Cambridge university press, 2003.

ORTEGA, A. C.; JESUS, C. M. de; MOURO, M. de C. Mecanização e emprego na cafeicultura do cerrado mineiro. *Revista da ABET*, v. 8, n. 2, 2009.

PACHECO, E. A.; BARBOSA, W. A.; ZANNIN, P. H. T. Quantificação do ruído de combustão usando três tipos diferentes de combustíveis de competição pelo método de intensidade sonora. *XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica - SOBRAC*, 2002.

- PAVANI, R. A. Estudo ergonômico aplicando o método occupational repetitive actions (ocra): Uma contribuição para a gestão da saúde no trabalho. *Centro Universitário SENAC, São Paulo*, 2007.
- PITTS, P. Uncertainty human vibration measurement: Instrumentation and measument issues. In: *International Conference on Hand-Arm Vibration*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 59–60.
- POLETO FILHO, J. A. *Análise dos riscos físicos e ergonômicos em roçadora transversal motorizada*. [S.l.]: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2013.
- PORTO, F. *Desenvolvimento de uma colhedora portátil de café por sucção aerodinâmica*. 1996. 98f. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade Estadual Paulista . . . , 1996.
- PUNNETT, L.; WEGMAN, D. H. Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *Journal of electromyography and kinesiology*, Elsevier, v. 14, n. 1, p. 13–23, 2004.
- PYYKKÖ, I. Clinical aspects of the hand-arm vibration syndrome: a review. *Scandinavian journal of work, environment & health*, JSTOR, p. 439–447, 1986.
- PYYKKÖ, I.; FÄRKILÄ, M.; TOIVANEN, J.; KORHONEN, O.; HYVÄRINEN, J. Transmission of vibration in the hand-arm system with special reference to changes in compression force and acceleration. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, JSTOR, p. 87–95, 1976.
- RAMAZZINI, B. *Português. As doenças dos trabalhadores; Tradução de Raimundo Estrêla - 4.ed.* [S.l.]: Fundacentro, 2016. v. 1. ISBN 978-85-98117-82-9.
- RAO, S. S. *Vibrações mecânicas* . [S.l.]: Pearson Educación, 2009.
- RENS, G.; DUBRULLE, P.; MALCHAIRE, J. Efficiency of conventional gloves against vibration. *The Annals of occupational hygiene*, Oxford University Press, v. 31, n. 2, p. 249–254, 1987.
- RIVIN, E. I. Vibration isolation of precision equipment. *Precision Engineering*, Elsevier, v. 17, n. 1, p. 41–56, 1995.
- ROMERO, J. C. P. Café de montanha perfaz cerca de 40brasileira. *Revista Visão Agrícola*, SciELO Brasil, v. 1, n. 12, p. 90–91, jan. 2013.
- SAHA, S.; KALRA, P. A review on hand-arm vibration exposure and vibration transmissibility from power hand tools to hand-arm system. *International Journal of Human Factors and Ergonomics*, Inderscience Publishers (IEL), v. 4, n. 1, p. 10–46, 2016.
- SALES, R. S. Avaliação da regulação do freio dos vibradores de colhedoras na eficiência de derriça do café. Universidade Federal de Lavras, 2011.
- SALES, R. S.; SILVA, F. M. d.; SILVA, F. C. d. Doses de ruído a qual estão submetidos operadores de derriçadoras portáteis de café. Editora UFPA, 2015.
- SALIBA, T. M.; CORRÊA, M. A. C. Insalubridade e periculosidade: aspectos técnicos e práticos. In: *Insalubridade e periculosidade: aspectos técnicos e práticos*. [S.l.]: LTr, 1995.

- SARAÇOĞLU, T.; ÇAKMAK, B.; ÖZARSLAN, C.; ALAYUNT, F. N. Vibration and noise characteristics of hook type olive harvesters. *African Journal of Biotechnology*, Academic Journals (Kenya), v. 10, n. 41, p. 8074–8081, 2011.
- SCHUTZER, V. M. Avaliação de parâmetros ergonômicos: vibração e ruído em roçadoras laterais. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2018.
- SILVA, F. d. *Efeito da força de desprendimento e da maturação dos frutos de cafeeiros na colheita mecanizada*. 2008. 106 p. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras . . . , 2008.
- SOUZA, C.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. d. A. d. C.; TEIXEIRA, M. M. *et al.* Desempenho de derriçadora portátil de frutos do cafeeiro. *Engenharia Agrícola*, Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005.
- SOUZA, C. M. A. de; QUEIROZ, D. M. de; RAFULL, L. Z. L. Derriçadora portátil na colheita total e seletiva de frutos do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, SciELO Brasil, v. 41, n. 11, p. 1637–1642, 2006.
- SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. *et al.* *Engineering principles of agricultural machines*. [S.l.]: American society of agricultural engineers, 1993.
- STELLMAN, J. M. *Encyclopaedia of occupational health and safety*. [S.l.]: International Labour Organization, 1998. v. 1.
- TALLERES CORBINS. *Derriçadora tipicamente utilizados na olivicultura*. 2019. Disponível em: <<https://www.tallerescorbins.com/es/>>.
- VINK, P.; KONINGSVELD, E. A.; MOLENBROEK, J. F. Positive outcomes of participatory ergonomics in terms of greater comfort and higher productivity. *Applied ergonomics*, Elsevier, v. 37, n. 4, p. 537–546, 2006.
- XIMENES, G. M. *Gestão ocupacional da vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Fluminense, 2006.

Apêndice A

Dados Estatísticos

Neste anexo são apresentados os resultado obtidos dos ensaios vibracionais com a derriçadora de café. As tabelas seguintes apresentam um resumo dos valores encontrados para vibração em cada condição ensaiada, bem como os valores encontrados através de cálculos estatísticos, facilitando a comparação.

A.1 Empunhadura central

Tabela A.1: Valores obtidos para a condição EC A PC

EC A PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	3,17	11,32	4,13	10,51	3,58	11,32	6,32
Mediana	3,14	11,36	4,16	10,27	3,58	11,03	6,30
Variância	0,22	3,68	0,72	3,42	0,29	3,58	1,13
Desvio padrão	0,46	1,91	0,84	1,84	0,53	1,89	1,06
Coeficiente de variação	14,63%	16,91%	20,44%	17,55%	14,94%	16,66%	16,75%

Tabela A.2: Valores obtidos para a condição EC A ML

EC A ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	1,04	2,86	0,20	0,62	0,57	1,68	1,21
Mediana	1,06	2,82	0,20	0,62	0,55	1,68	1,23
Variância	0,08	0,50	0,00	0,00	0,01	0,05	0,07
Desvio padrão	0,28	0,70	0,02	0,07	0,10	0,21	0,27
Coefficiente de variação	26,50%	24,63%	10,96%	10,95%	16,94%	12,59%	21,85%

Tabela A.3: Valores obtidos para a condição EC B PC

EC B PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	3,70	12,54	2,56	7,87	3,03	10,93	5,43
Mediana	3,70	12,43	2,56	7,84	3,01	10,86	5,30
Variância	0,07	1,20	0,00	0,18	0,08	1,47	0,08
Desvio padrão	0,25	1,09	0,03	0,42	0,28	1,21	0,29
Coefficiente de variação	6,88%	8,71%	1,06%	5,36%	9,16%	11,06%	5,29%

Tabela A.4: Valores obtidos para a condição EC B ML

EC B ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	0,91	2,86	0,24	0,74	1,36	3,06	1,68
Mediana	0,87	2,78	0,24	0,73	1,38	3,12	1,65
Variância	0,07	0,50	0,00	0,00	0,08	0,42	0,06
Desvio padrão	0,26	0,71	0,02	0,07	0,28	0,65	0,24
Coefficiente de variação	28,14%	24,73%	9,22%	9,14%	20,45%	21,10%	14,32%

Tabela A.5: Valores obtidos para a condição EC C PC

ET C PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	3,22	11,10	1,44	4,96	3,00	10,87	4,63
Mediana	3,15	10,95	1,43	4,91	3,11	10,97	4,67
Variância	0,10	2,09	0,01	0,34	0,20	1,86	0,29
Desvio padrão	0,32	1,44	0,12	0,58	0,45	1,36	0,54
Coefficiente de variação	10,02%	12,99%	8,28%	11,75%	14,91%	12,51%	11,55%

Tabela A.6: Valores obtidos para a condição EC C ML

EC C ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	1,53	3,87	0,15	0,51	1,59	3,05	2,23
Mediana	1,41	3,56	0,15	0,50	1,66	3,09	2,20
Variância	0,18	1,10	0,00	0,00	0,05	0,17	0,18
Desvio padrão	0,42	1,05	0,02	0,06	0,23	0,41	0,42
Coeficiente de variação	27,45%	27,04%	12,74%	12,32%	14,30%	13,29%	18,76%

Tabela A.7: Valores obtidos para a condição EC D PC

EC D PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	3,89	16,09	2,32	7,52	3,83	14,47	5,94
Mediana	3,90	15,79	2,32	7,30	3,82	14,51	5,93
Variância	0,04	2,99	0,00	0,71	0,07	1,04	0,03
Desvio padrão	0,20	1,72	0,07	0,84	0,27	1,02	0,17
Coeficiente de variação	5,09%	10,72%	2,87%	11,18%	6,96%	7,02%	2,86%

Tabela A.8: Valores obtidos para a condição EC D ML

EC D ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	1,07	3,22	0,20	0,61	1,22	2,72	1,66
Mediana	0,95	2,94	0,19	0,59	1,20	2,67	1,60
Variância	0,17	0,91	0,00	0,01	0,07	0,24	0,15
Desvio padrão	0,41	0,95	0,02	0,08	0,27	0,49	0,39
Coeficiente de variação	38,05%	29,67%	11,43%	12,89%	22,07%	17,82%	23,42%

Tabela A.9: Valores obtidos para a condição EC SP PC

EC SP PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	2,57	8,97	2,21	5,75	2,15	8,15	4,02
Mediana	2,66	9,04	2,23	5,82	2,16	8,09	4,12
Variância	0,11	1,55	0,08	0,59	0,04	1,35	0,17
Desvio padrão	0,34	1,24	0,29	0,76	0,20	1,16	0,41
Coeficiente de variação	13,06%	13,82%	12,88%	13,30%	9,32%	14,20%	10,21%

Tabela A.10: Valores obtidos para a condição EC SP ML

EC SP ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	2,15	4,17	0,28	0,81	1,21	2,22	2,50
Mediana	2,19	4,14	0,28	0,81	1,26	2,32	2,51
Variância	0,07	0,12	0,00	0,01	0,06	0,15	0,04
Desvio padrão	0,27	0,34	0,02	0,09	0,25	0,38	0,19
Coeficiente de variação	12,43%	8,28%	5,69%	10,76%	20,62%	17,32%	7,77%

A.2 Empunhadura traseira

Tabela A.11: Valores obtidos para a condição ET A PC

ET A PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	4,15	13,38	4,49	14,45	4,81	17,52	7,78
Mediana	4,39	13,80	4,91	14,80	5,31	19,02	8,52
Variância	0,41	4,46	0,75	4,60	0,84	15,71	1,89
Desvio Padrão	0,64	2,11	0,86	2,14	0,91	3,95	1,37
Coeficiente de variação	15,39%	15,74%	19,21%	14,80%	18,94%	22,56%	17,60%

Tabela A.12: Valores obtidos para a condição ET A ML

ET A ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	0,73	2,28	0,32	0,89	0,61	1,69	1,01
Mediana	0,71	2,24	0,32	0,88	0,62	1,69	1,01
Variância	0,00	0,06	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00
Desvio padrão	0,07	0,25	0,02	0,07	0,08	0,22	0,05
Coefficiente de variação	9,66%	10,98%	5,36%	7,64%	12,60%	12,80%	5,37%

Tabela A.13: Valores obtidos para a condição ET B PC

ET B PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	3,96	13,72	3,10	9,92	5,13	15,13	7,21
Mediana	4,07	14,04	3,14	10,01	5,31	15,29	7,25
Variância	0,21	2,95	0,06	1,11	0,72	2,45	0,62
Desvio padrão	0,46	1,71	0,25	1,05	0,85	1,56	0,78
Coefficiente de variação	11,51%	12,47%	8,11%	10,60%	16,56%	10,32%	10,85%

Tabela A.14: Valores obtidos para a condição ET B ML

ET B ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	0,65	1,97	0,22	0,78	0,80	1,80	1,05
Mediana	0,65	1,95	0,21	0,78	0,78	1,79	1,04
Variância	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,07	0,01
Desvio padrão	0,03	0,14	0,01	0,06	0,15	0,27	0,12
Coeficiente de variação	4,36%	7,19%	5,55%	7,70%	19,13%	15,17%	11,01%

Tabela A.15: Valores obtidos para a condição ET C PC

ET C PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	4,37	14,27	1,80	6,41	5,81	16,43	7,50
Mediana	4,25	14,20	1,81	6,31	5,82	16,42	7,38
Variância	0,20	2,53	0,01	0,24	0,05	1,59	0,12
Desvio padrão	0,44	1,59	0,07	0,48	0,23	1,26	0,34
Coeficiente de variação	10,12%	11,11%	3,96%	7,55%	4,00%	7,64%	4,55%

Tabela A.16: Valores obtidos para a condição ET C ML

ET C ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	1,01	2,38	0,22	0,68	0,49	1,34	1,14
Mediana	1,00	2,35	0,21	0,67	0,46	1,27	1,13
Variância	0,00	0,04	0,00	0,01	0,01	0,07	0,01
Desvio padrão	0,06	0,19	0,03	0,08	0,09	0,27	0,08
Coeficiente de variação	5,57%	8,07%	13,01%	11,88%	19,01%	20,15%	7,16%

Tabela A.17: Valores obtidos para a condição ET D PC

ET D PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	3,87	12,81	2,69	9,61	5,14	16,48	6,99
Mediana	3,74	12,56	2,68	9,54	5,16	15,86	6,80
Variância	0,13	2,26	0,02	1,42	0,73	8,91	0,69
Desvio padrão	0,35	1,50	0,15	1,19	0,85	2,98	0,83
Coeficiente de variação	9,16%	11,69%	5,65%	12,35%	16,55%	18,07%	11,88%

Tabela A.18: Valores obtidos para a condição ET D ML

ET D ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	1,04	2,54	0,28	0,90	0,76	1,97	1,32
Mediana	1,03	2,52	0,28	0,90	0,77	1,96	1,32
Variância	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Desvio padrão	0,04	0,20	0,02	0,07	0,05	0,19	0,03
Coeficiente de variação	3,97%	7,78%	5,54%	7,49%	7,06%	9,58%	2,64%

Tabela A.19: Valores obtidos para a condição ET SP PC

ET SP PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	4,08	12,73	2,38	6,52	4,39	13,40	6,49
Mediana	3,97	12,52	2,46	6,48	4,48	13,14	6,45
Variância	0,56	7,03	0,05	0,35	0,23	4,16	0,35
Desvio padrão	0,75	2,64	0,23	0,59	0,48	2,03	0,59
Coeficiente de variação	18,29%	20,77%	9,71%	9,08%	10,99%	15,17%	9,04%

Tabela A.20: Valores obtidos para a condição ET SP ML

ET SP ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	1,16	3,02	0,29	0,97	1,24	2,54	1,72
Mediana	1,14	2,98	0,29	0,96	1,21	2,51	1,71
Variância	0,01	0,07	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01
Desvio padrão	0,09	0,26	0,03	0,09	0,11	0,21	0,10
Coefficiente de variação	7,62%	8,69%	9,41%	9,03%	9,21%	8,35%	5,65%

A.3 Manopla Absorvedora

Tabela A.21: Valores obtidos para a condição MET A PC

MET A PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	2,57	8,46	4,26	11,28	2,03	7,20	5,38
Mediana	2,56	8,40	4,38	11,45	2,11	7,17	5,50
Variância	0,01	0,44	0,26	3,43	0,04	0,62	0,28
Desvio padrão	0,11	0,66	0,51	1,85	0,20	0,79	0,52
Coefficiente de variação	4,43%	7,85%	12,03%	16,37%	10,05%	10,91%	9,73%

Tabela A.22: Valores obtidos para a condição MET A ML

MET A ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	0,67	1,99	0,33	0,92	0,52	1,24	0,91
Mediana	0,66	1,94	0,33	0,91	0,51	1,22	0,90
Variância	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Desvio padrão	0,05	0,25	0,02	0,06	0,05	0,17	0,06
Coeficiente de variação	7,39%	12,76%	4,64%	6,88%	9,02%	13,44%	6,87%

Tabela A.23: Valores obtidos para a condição MET B PC

MET B PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	2,84	9,84	2,37	7,01	2,78	9,21	4,63
Mediana	2,76	9,31	2,37	7,13	2,95	9,21	4,69
Variância	0,19	3,02	0,04	0,78	0,13	1,53	0,32
Desvio padrão	0,43	1,73	0,20	0,88	0,36	1,23	0,56
Coeficiente de variação	15,32%	17,61%	8,43%	12,58%	12,93%	13,41%	12,10%

Tabela A.24: Valores obtidos para a condição MET B ML

MET B ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	0,67	2,03	0,25	0,88	0,89	1,94	1,15
Mediana	0,66	1,97	0,25	0,90	0,89	1,93	1,15
Variância	0,00	0,07	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
Desvio padrão	0,06	0,25	0,02	0,13	0,04	0,14	0,06
Coeficiente de variação	9,08%	12,54%	9,03%	14,29%	4,58%	7,28%	5,43%

Tabela A.25: Valores obtidos para a condição MET C PC

MET C PC	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	3,11	9,75	1,51	4,73	2,71	8,83	4,39
Mediana	3,11	9,61	1,54	4,69	2,73	8,79	4,48
Variância	0,04	0,88	0,01	0,20	0,08	0,69	0,10
Desvio padrão	0,20	0,94	0,11	0,44	0,28	0,83	0,31
Coeficiente de variação	6,32%	9,59%	7,60%	9,39%	10,51%	9,42%	7,04%

Tabela A.26: Valores obtidos para a condição MET C ML

MET C ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	0,66	2,21	0,27	0,98	1,31	2,40	1,49
Mediana	0,66	2,20	0,27	0,98	1,32	2,40	1,51
Variância	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01
Desvio padrão	0,04	0,19	0,01	0,07	0,08	0,15	0,08
Coeficiente de variação	6,13%	8,48%	5,47%	6,93%	6,34%	6,22%	5,26%

Tabela A.27: Valores obtidos para a condição MET D PC

MET C ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv} (m/s^2)
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	
Média	4,01	11,47	2,30	6,96	2,93	10,49	5,50
Mediana	4,22	11,74	2,30	6,99	2,89	10,25	5,84
Variância	0,58	2,24	0,00	0,20	0,26	2,93	0,53
Desvio padrão	0,76	1,49	0,07	0,45	0,51	1,71	0,72
Coeficiente de variação	18,94%	13,00%	2,92%	6,47%	17,44%	16,28%	13,14%

Tabela A.28: Valores obtidos para a condição MET D ML

MET D ML	$X(m/s^2)$		$Y(m/s^2)$		$Z(m/s^2)$		a_{hv}
	r.m.s	pico	r.m.s	pico	r.m.s	pico	(m/s^2)
Média	0,64	1,96	0,32	1,05	0,66	1,73	0,98
Mediana	0,62	1,90	0,32	1,05	0,65	1,72	0,96
Variância	0,01	0,05	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01
Desvio padrão	0,08	0,23	0,01	0,11	0,05	0,13	0,07
Coefficiente de variação	12,91%	11,64%	3,78%	10,79%	7,84%	7,75%	7,21%