



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**VICTOR MANIERI SCHUTZER**

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS ERGONÔMICOS: VIBRAÇÃO E RUÍDO EM  
ROÇADORAS LATERAIS**

**BAURU**

**2018**

VICTOR MANIERI SCHUTZER

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS ERGONÔMICOS: VIBRAÇÃO E RUÍDO EM  
ROÇADORAS LATERAIS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Bauru, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos

**Bauru**

**2018**

Schutzer, Victor Manieri.

Avaliação de parâmetros ergonômicos: vibração e ruído em roçadoras laterais / Victor Manieri Schutzer, 2018

107 f.

Orientador: João Eduardo Guarnetti dos Santos

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2018

1. Roçadora motorizada. 2. Acelerômetro. 3. Medidor de pressão sonora. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de VICTOR MANIERI SCHUTZER, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 23 dias do mês de fevereiro do ano de 2018, às 09:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da 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, Prof. Dr. BENTO RODRIGUES DE PONTES JUNIOR do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Dr. RICARDO CARVALHO TOSIN do(a) Coordenador de Engenharia de Segurança do Trabalho / SABESP - Botucatu, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de VICTOR MANIERI SCHUTZER, intitulada **AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS ERGONÔMICOS: VIBRAÇÃO E RUÍDO EM ROÇADORAS LATERAIS**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO \_\_\_\_ . 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. BENTO RODRIGUES DE PONTES JUNIOR

  
Dr. RICARDO CARVALHO TOSIN

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Roberto e Suzeti, por todo o apoio, incentivo e dedicação em todos os momentos da minha vida.

À minha avó, Orlanda, por toda torcida, orações e preocupações em todos os momentos e escolhas da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos pelos conselhos, conhecimentos e oportunidade de desenvolver esse trabalho.

À minha namorada Paula, pela paciência e carinho em todos os momentos.

Aos amigos Lucas Doimo, Daniel Ferrari e Matheus Luciano pela ajuda e conselhos durante os testes realizados.

Aos meus amigos do Laboratório de Sistemas Mecânico e Controle, Alana, Arthur, Matheus e Roger, pela amizade e companheirismo.

Aos professores e funcionários da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro concedido.

## RESUMO

SCHUTZER V. M., AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS ERGONÔMICOS: VIBRAÇÃO E RUÍDO EM ROÇADORAS LATERAIS, Bauru: Faculdade de Engenharia, UNESP – Universidade Estadual Paulista, 2018, 107p., Dissertação (Mestrado).

A crescente mecanização na agricultura mundial foi acompanhada do aumento do número de acidentes e fez com que elevasse a preocupação com a saúde de seus operadores, já que tais trabalhadores estão expostos aos riscos que esse tipo de atividade proporciona. Alguns dos graves problemas que são gerados pelos equipamentos agrícolas é a alta vibração e ruído a que os operadores ficam expostos na sua jornada de trabalho. A vibração que atinge os trabalhadores pode ser considerada como um distúrbio, já que é responsável por grandes prejuízos à saúde do ser humano, estando diretamente relacionada com a fadiga do trabalhador. O ruído, considerado como um som indesejável, é outro problema gerado por máquinas motoras e responsável por lesão no aparelho auditivo e, até mesmo, por estresse psicofisiológico. Para o presente trabalho, analisou-se os riscos físicos que a vibração e o ruído causam em operadores de roçadoras motorizadas. Foram feitas análises de situações reais que os usuários deste tipo de máquina enfrentam no seu dia a dia de trabalho, para que se possa tirar conclusões da possibilidade de efeitos danosos. Para a pesquisa utilizou-se um acelerômetro de três eixos - HVM 100, marca Larson Davis, para mensurar a vibração captada pela mão do operador e um medidor de pressão sonora, marca Instrutherm, modelo DEC-460 para mensurar o ruído causado pela roçadora. Para a análise da vibração captada pela mão dos operadores foi utilizada a norma internacional ISO 5349 (2001) – Vibração Mecânica – Medição, Avaliação da Exposição Humana da Vibração Transmitida à Mão e Diretiva Europeia 2002/44/EC que estabelece os limites de exposição à vibração. As análises do ruído foram feitas a partir da Norma Regulamentadora – NR-15 – Atividades e Operações Insalubres. Os resultados de vibração e ruído apresentados em alguns testes ficaram acima do que estabelece a norma para que não haja prejuízo à saúde dos operadores deste tipo de equipamento durante uma exposição equivalente a uma jornada de trabalho de 8 horas. Além disso, mostra a importância do estudo, escolha e, principalmente, da correta utilização de EPI (Equipamento de Proteção Individual) para que minimize a vibração e o ruído que chegam ao organismo humano. É importante, ainda, a manutenção periódica dos equipamentos mecânicos para que os mesmos funcionem corretamente, evitando quebras das máquinas e danos aos operadores de tais equipamentos.

**Palavras-chave:** Roçadora motorizada. Acelerômetro. Medidor de pressão sonora.

## ABSTRACT

SCHUTZER V. M., ERGONOMIC PARAMETERS EVALUATION: VIBRATION AND NOISE ON LATERAL BRUSHCUTTERS, Bauru: School of Engineering, UNESP – São Paulo State University, 2018, 107p., Dissertation (Master's degree).

The increasing mechanization in world agriculture was accompanied by an increase in the number of accidents has caused concern about the health of its operators, as these workers are exposed to risks that this type of activity provides. Some of the serious problems that are generated by agricultural equipment are the high vibration and noise to which operators are exposed in their work. The vibration that affects the workers can be considered as a disorder, since it is responsible for major damages to the health of human beings, being directly related to worker fatigue. Noise, regarded as an unwanted sound, is another problem caused by motorized machines and responsible to hearing damage and even to psychophysiological stress. For this study, a physical risks analysis was made. So it is possible to determine the damage that vibration and noise can cause in motorized brushcutter's operators. Real situations of the daily work that these users go through were analyzed, so that conclusions can be made of the possibility of harmful effects. For the research, an accelerometer of three axes - HVM 100, Larson Davis brand, was used to measure the vibration captured by the hand of the operator and a sound pressure meter, Instrutherm brand model DEC-460, was used to measure the noise caused by brushcutters. For the vibration analysis captured by the hand of the operators, the international standard ISO 5349 (2001) - Mechanical Vibration - Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration and the European Directive 2002/44/EC establishing the exposure limits for vibrations were used. Noise analysis was made based on the Regulatory Standard - NR-15 - Unhealthy Activities and Operations. The noise and vibration results in some tests were above the standard so that there is no damage to the health of the operators of such equipment during an exposure equivalent to an 8 hours working day. This also shows the importance of the study, choice and especially the proper use of PPE (Personal Protective Equipment) to minimize vibration and noise coming to the human body. The regular maintenance of mechanical equipment is also important so that they function properly, avoiding machinery breakages and damage to operators of such equipment.

**Keywords:** Motorized brushcutter. Accelerometer. Sound pressure meter.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Evolução das publicações com o tema ergonomia.....	16
Figura 2.2 – Desenho esquemático de um motor dois tempos. ....	20
Figura 2.3 – Frequência natural do corpo humano.....	24
Figura 2.4 – Fenômeno de Raynaud ou doença dos dedos brancos.....	26
Figura 2.5 – Esquema de um sistema de medição de vibração.....	28
Figura 2.6 – Principais parâmetros relacionados com a vibração.....	29
Figura 2.7 – Sistema de coordenadas para a mão.....	30
Figura 2.8 – Curva de ponderação em frequência Wh para vibrações nas mãos e braços.....	31
Figura 2.9 – Relação de A(8) e tempo de aparecimento dos “dedos brancos” .....	32
Figura 2.10 – Detalhe do local de fixação do acelerômetro.....	34
Figura 2.11 – Desenho esquemático do adaptador tipo barra.....	34
Figura 2.12 – Sistema auditivo periférico.....	37
Figura 2.13 – Sistema de medição de ruído.....	41
Figura 2.14 – Escala comparativa.....	42
Figura 2.15 – Delimitação da área de audição.....	42
Figura 2.16 – Circuitos de compensação A, B, C e D.....	43
Figura 2.17 – Operador de roçadora com os devidos EPI.....	47
Figura 3.1 – Roçadoras A, B, C e D.....	49
Figura 3.2 – Detalhe do nylon e das lâminas utilizadas nos testes.....	50
Figura 3.3 – Sistema de aquisição.....	50
Figura 3.4 – Adaptador do tipo Barra utilizado na análise da vibração.....	50
Figura 3.5 – Medidor de pressão sonora DEC-460.....	51
Figura 3.6 – Detalhe da montagem do acelerômetro.....	52
Figura 3.7 – Local onde se realizou os ensaios.....	53
Figura 3.8 – Diagrama esquemático da análise de vibração e ruído.....	54
Figura 4.1 – Análise de predominância dos eixos nos testes de vibração.....	56
Figura 4.2 – Análise de dispersão das repetições para operação em baixa rotação.....	57
Figura 4.3 – Análise de dispersão para máquinas em baixa rotação.....	58
Figura 4.4 – Aceleração ao longo do tempo para máquinas em baixa rotação.....	59
Figura 4.5 – Análise de dispersão das repetições para operação em alta rotação com nylon.....	60
Figura 4.6 – Análise de dispersão para máquinas em alta rotação com nylon.....	61
Figura 4.7 – Aceleração ao longo do tempo para máquinas em alta rotação com nylon.....	62



Figura 4.8 – Análise de dispersão das repetições para operação durante a ceifa da vegetação com nylon.....	63
Figura 4.9 – Análise de dispersão para máquinas durante a ceifa da vegetação com nylon.....	64
Figura 4.10 – Aceleração ao longo do tempo para máquinas durante a ceifa da vegetação com nylon.....	65
Figura 4.11 – Análise de dispersão das repetições para operação em alta rotação com lâmina.....	66
Figura 4.12 – Análise de dispersão para máquinas em alta rotação com lâmina.....	67
Figura 4.13 – Aceleração ao longo do tempo para máquinas em alta rotação com lâmina.....	68
Figura 4.14 – Análise de dispersão das repetições para operação durante a ceifa da vegetação com lâmina.....	69
Figura 4.15 – Análise de dispersão para máquinas durante a ceifa da vegetação com lâmina.....	70
Figura 4.16 – Aceleração ao longo do tempo para máquinas durante a ceifa da vegetação com lâmina.....	71
Figura 4.17 – Análise de dispersão das repetições para a máquina A.....	72
Figura 4.18 – Análise de dispersão das operações da máquina A.....	73
Figura 4.19 – Aceleração ao longo do tempo para a máquina A.....	74
Figura 4.20 – Análise de dispersão das repetições para a máquina B.....	75
Figura 4.21. Análise de dispersão das operações da máquina B.....	76
Figura 4.22 – Aceleração ao longo do tempo para a máquina B.....	77
Figura 4.23 – Análise de dispersão das repetições para a máquina C.....	78
Figura 4.24 – Análise de dispersão das operações da máquina C.....	79
Figura 4.25 – Aceleração ao longo do tempo para a máquina C.....	80
Figura 4.26 – Análise de dispersão das repetições para a máquina D.....	81
Figura 4.27 – Análise de dispersão das operações da máquina D.....	82
Figura 4.28 – Aceleração ao longo do tempo para a máquina D.....	83
Figura 4.29 – Análise da dispersão das acelerações para as máquinas utilizadas na pesquisa....	85
Figura 4.30 – Análise da dispersão das acelerações dos testes realizados.....	86
Figura 4.31 – Análise do ruído para a máquina A.....	91
Figura 4.32 – Análise do ruído para a máquina B.....	92
Figura 4.33 – Análise do ruído para a máquina C.....	92
Figura 4.34 – Análise do ruído para a máquina D.....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Relação de A(8) para aparecimento da patologia “dedos brancos”.....	33
Tabela 2.2 – Nível de Ação e Limite de Exposição.....	34
Tabela 2.3 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.....	44
Tabela 3.1 – Características técnicas das máquinas utilizadas na pesquisa.....	49
Tabela 3.2 – Sequência de testes realizados.....	52
Tabela 4.1 – Resultados dos testes de vibração.....	55
Tabela 4.2 – Resultado da vibração por eixo de cada máquina.....	56
Tabela 4.3 – Análise estatística das repetições para operação em baixa rotação.....	57
Tabela 4.4 – Análise estatística para operação em baixa rotação.....	58
Tabela 4.5 – Análise estatística das repetições para operação em alta rotação com nylon.....	60
Tabela 4.6 – Análise estatística para operação em alta rotação com nylon.....	61
Tabela 4.7 – Análise estatística das repetições para operação durante a ceifa da vegetação com nylon.....	63
Tabela 4.8 – Análise estatística para operação durante a ceifa da vegetação com nylon.....	64
Tabela 4.9 – Análise estatística das repetições para operação em alta rotação com lâmina.....	66
Tabela 4.10 – Análise estatística para operação em alta rotação com lâmina.....	67
Tabela 4.11 – Análise estatística das repetições para operação durante a ceifa da vegetação com lâmina.....	69
Tabela 4.12 – Análise estatística para operação durante a ceifa da vegetação com lâmina.....	70
Tabela 4.13 – Análise estatística das repetições para a máquina A.....	72
Tabela 4.14 – Análise estatística para máquina A.....	73
Tabela 4.15 – Análise estatística das repetições para a máquina B.....	75
Tabela 4.16 – Análise estatística para máquina B.....	76
Tabela 4.17 – Análise estatística das repetições para a máquina C.....	78
Tabela 4.18 – Análise estatística para máquina C.....	79
Tabela 4.19 – Análise estatística das repetições para a máquina D.....	81
Tabela 4.20 – Análise estatística para máquina D.....	82
Tabela 4.21 – Comparativo geral de vibração entre máquinas.....	85
Tabela 4.22 – Comparativo geral de vibração entre operações.....	87
Tabela 4.23 – Resultados dos testes de ruído.....	89
Tabela 4.24 – Análise estatística do ruído.....	90

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

- CA** – Certificado de Aprovação
- EPI** – Equipamento de Proteção Individual
- HVM** – Human Vibration Meter
- ICP** – Integrated Circuit Piezoelectric
- IEA** – International Ergonomics Association
- ISO** – International Organization for Standardization
- MTE** – Ministério do Trabalho e Emprego
- NHO** – Norma de Higiene Ocupacional
- NPS** – Nível de Pressão Sonora
- NR** – Norma Regulamentadora
- PAIR** – Perda Auditiva Induzida pelo Ruído
- RMS** – Root Mean Square
- SI** – Sistema Internacional
- VCI** – Vibração de Corpo Inteiro
- VMB** – Vibrações em Mãos e Braços

## LISTA DE SÍMBOLOS

**A<sub>eq</sub>** – Aceleração média no tempo medido

**a<sub>hv</sub>** – Valor da vibração transmitida à mão

**a<sub>hw<sub>x</sub></sub>, a<sub>hw<sub>y</sub></sub>, a<sub>hw<sub>z</sub></sub>** – aceleração transmitida para os eixos x, y e z

**a<sub>re</sub>** – aceleração resultante de exposição

**a<sub>ren</sub>** – aceleração resultante de exposição normalizada

**a(t)** – aceleração instantânea

**A(8)** – Projeção de dose para 8 horas

**C<sub>n</sub>** – Tempo que o trabalhador fica exposto ao ruído

**D<sub>y</sub>** – Tempo para aparecimento de “dedos brancos” para 10% do grupo analisado

**g** – Gravidade

**L<sub>p</sub>** – Nível de pressão sonora da banda larga

**L<sub>pi</sub>** – Nível de pressão sonora da i-ésima banda estreita

**P** – Pressão do sistema

**P<sub>0</sub>** – Pressão de referência

**t** – Tempo

**T** – Duração total diária da exposição à vibração

**T<sub>n</sub>** – máxima exposição diária permissível ao nível de ruído

**T<sub>0</sub>** – Duração de referência de 8 horas (28.800s)

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1.Motivação e Justificativa.....	13
1.2.Objetivos.....	14
1.3.Estrutura da Dissertação.....	14
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
2.1.Ergonomia e acidente de trabalho.....	15
2.2.Motores de combustão interna.....	19
2.2.1. Vibração em motores.....	20
2.2.2. Ruído em motores.....	21
2.3.Vibração.....	21
2.3.1. Medidores de vibração.....	27
2.3.2. Normas e legislação da vibração.....	30
2.4.Ruído.....	35
2.4.1. Medidores de ruído.....	40
2.4.2. Normas e legislação do ruído.....	44
2.5.Equipamento de proteção individual.....	45
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>49</b>
3.1.Material.....	49
3.2.Métodos.....	51
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>55</b>
4.1.Vibração.....	55
4.1.1. Comparativo entre máquinas.....	57
4.1.1.1.Baixa rotação.....	57
4.1.1.2.Altíssima rotação com nylon.....	59
4.1.1.3.Rotação de trabalho com nylon.....	62
4.1.1.4.Altíssima rotação com lâmina.....	65
4.1.1.5.Rotação de trabalho com lâmina.....	68
4.1.2. Comparativo entre operações.....	72
4.1.2.1.Máquina A.....	72

4.1.2.2.Máquina B.....	75
4.1.2.3.Máquina C.....	78
4.1.2.4.Máquina D.....	81
4.1.3. Considerações gerais.....	84
4.2.Ruído.....	88
4.2.1. Comparativo entre operações e posições.....	90
4.2.1.1.Máquina A.....	90
4.2.1.2.Máquina B.....	91
4.2.1.3.Máquina C.....	92
4.2.1.4.Máquina D.....	93
4.2.2. Considerações gerais.....	93
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>95</b>
5.1.Sugestões para trabalhos futuros.....	95
<b>Referências.....</b>	<b>96</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>104</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente emprego de máquinas nas indústrias e no campo proporcionou maior facilidade para os trabalhadores exercerem suas atividades e, principalmente, acarretou em melhor desempenho e qualidade nos serviços realizados. Nesse cenário, a utilização de ferramentas manuais motorizadas tornou-se indispensável pela praticidade e facilidade de uso.

Na contramão desses benefícios gerados pela automatização do trabalho estão os prejuízos e riscos que a operação com esse tipo de ferramenta pode causar aos trabalhadores, já que os operadores estão sujeitos à vibração e ruído que esse tipo de equipamento pode proporcionar.

Em conjunto com a crescente mecanização e, conseqüentemente, aos malefícios à saúde e ao bem-estar dos trabalhadores causados pelo aumento do número de máquinas, a ergonomia propõe mudanças na forma de trabalho para que haja uma maior harmonização entre os seres humanos e outros elementos de um sistema e, dessa forma, aumenta-se a eficiência, produtividade e conforto de cada trabalhador.

Diante desse cenário e considerando a importância da saúde, segurança e conforto dos operadores de roçadoras laterais motorizadas, este trabalho buscou avaliar a vibração que é transmitida para as mãos e o ruído próximo aos ouvidos dos operadores deste tipo de equipamento através de pesquisa realizada em campo. Realizaram-se testes com a utilização de quatro roçadoras de diferentes marcas e com as máquinas operando em baixa e alta rotação e durante a ceifa da vegetação com a utilização de nylon e lâmina e, a seguir, comparou-se os resultados com os limites estabelecidos pela Diretiva Europeia 2002/44/EC e Norma Regulamentadora 15 para vibração e ruído, respectivamente.

### 1.1.Motivação e Justificativa

Tanto a vibração quanto o ruído estão presentes em muitas das atividades do dia a dia do ser humano e podem, dessa forma, gerar grandes prejuízos à saúde. Mais especificamente para o equipamento em estudo, o ruído e a vibração são duas importantes variáveis ocupacionais presentes na atividade dos operadores de roçadoras laterais motorizadas e, dessa maneira, a análise e controle dessas variáveis torna-se fundamental para a saúde dos operadores.

Os efeitos da vibração e do ruído no organismo são discutidos por diversos pesquisadores por se tratar de variáveis que são extremamente prejudiciais à saúde. A vibração é responsável por diversos efeitos, entre eles a perda de equilíbrio, degeneração do tecido muscular e nervoso, perda da capacidade manipulativa, distúrbios de ordem vascular,

neurológicas, musculoesqueléticas, entre outros. Já o ruído pode ser responsável por perdas auditivas temporárias ou permanentes, nervosismo, cansaço, baixo rendimento nas atividades exercidas, dentre outros efeitos catalogados.

## **1.2.Objetivos**

O objetivo do presente trabalho foi analisar, comparar e interpretar os níveis de vibração e ruído gerados durante os testes em baixa e alta rotação e durante a ceifa da vegetação com emprego de quatro roçadoras laterais motorizadas de marcas e potências distintas e com a utilização de duas ferramentas de corte, nylon e lâmina. Os níveis de vibração e ruído foram confrontados com as normas vigentes para verificar se os operadores estão sujeitos a terem a saúde prejudicada por conta das variáveis estudadas.

## **1.3.Estrutura da Dissertação**

A dissertação está organizada conforme descrito abaixo:

O Capítulo 1 apresenta a introdução ao assunto dos benefícios e malefícios da utilização de ferramentas manuais motorizadas, assim como os objetivos e justificativas para a realização desse trabalho.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica de assuntos pertinentes como ergonomia e acidente de trabalho, motores de combustão interna, vibração, ruído e Equipamento de Proteção Individual.

Os equipamentos utilizados para os testes, assim como a metodologia empregada encontram-se no Capítulo 3.

Os resultados e discussão das análises das variáveis estudadas são apresentadas no Capítulo 4.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões a partir dos resultados obtidos, assim como sugestões para trabalhos futuros.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Ergonomia e acidente de trabalho

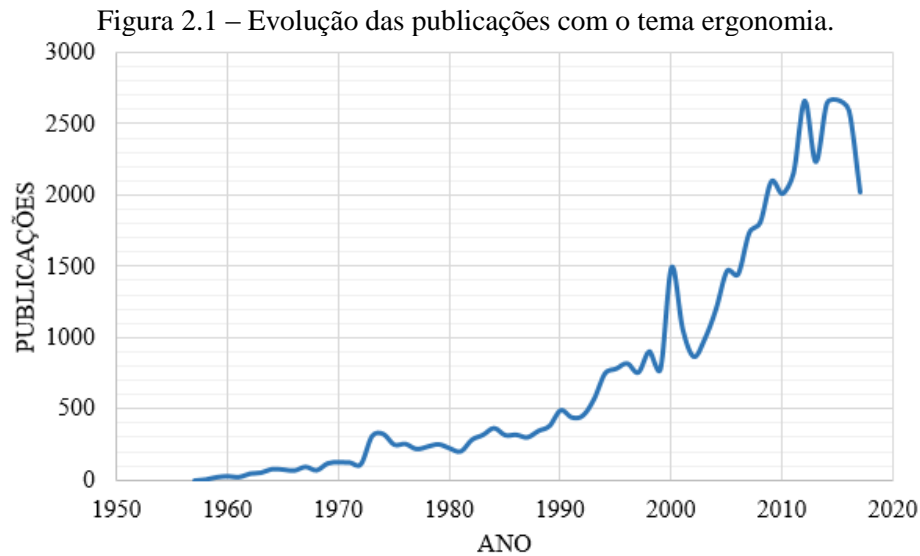
Nos últimos anos, o cenário nas indústrias e no meio de produção tem mostrado grandes alterações e, conseqüentemente, traz novos desafios no que diz respeito à interação entre o ser humano e o meio em que está incluído. Trata-se de uma mudança organizacional e a ergonomia é a grande responsável pela correta relação entre homem e as tecnologias presentes no meio, contribuindo, dessa forma, para o desenvolvimento de modernos ambientes de trabalho (IIDA; BUARQUE, 2016). Os mesmos autores comentam que a ergonomia pode ser definida como o estudo relacionado à adaptação do trabalho ao homem, percebe-se, porém, que a adaptação ocorre sempre do trabalho para o homem, pois é muito mais difícil adaptar o homem ao trabalho. Já para Oliveira Netto e Tavares (2006), a ergonomia tem como função adaptar o local de trabalho ao trabalhador para que, dessa forma, evite acidentes e doenças profissionais.

Em 2000, a IEA – Associação Internacional de Ergonomia adotou a definição oficial de ergonomia como sendo:

Uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de otimizar o bem-estar humano e o desenvolvimento global do sistema. Os ergonomistas contribuem para o planejamento, projeto e avaliação de tarefas, posto de trabalho, produtos, ambientes e sistemas de modo a torná-los compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas (IEA, 2000).

A aplicação da ergonomia tem se tornado cada vez mais ampla. Inicialmente, aplicava-se exclusivamente nas indústrias e se limitava à relação homem-máquina. Porém, esse conceito cresceu e desenvolveu-se no último século e a área de abrangência tornou-se muito mais ampla, estudando, dessa forma, sistemas muito mais complexos da interação do homem com a máquina e a matéria (IIDA; BUARQUE, 2016).

Percebe-se a importância que a ergonomia tem ganhado através da quantidade de publicações sobre o assunto de acordo com a base de dados Scopus (2017). A Figura 2.1 mostra essa evolução.



Fonte: Scopus (2017).

A ergonomia está diretamente relacionada com a saúde ocupacional, segurança e produtividade e utiliza, ainda, conceitos como uso fácil e seguro de ferramentas e máquinas para atingir seus objetivos. A participação e envolvimento de empregadores com tais preocupações pode levar a alta produtividade (SASIKUMAR; LENIN, 2016).

De acordo com Dul e Weerdmeester (2004), a ergonomia auxilia para solucionar muitos dos problemas encontrados no ambiente de trabalho, dentre eles a melhora da segurança, saúde, conforto e eficiência no trabalho. Para Martins e Laugeni (2005), a ergonomia possui como foco a preocupação com a forma com que a pessoa se relaciona com o meio físico do trabalho, incluindo mesas, cadeiras, escrivaninhas, máquinas, etc.

Ferreira e Gurgueira (2013) concluíram que a atuação preventiva por meio da ergonomia e da engenharia econômica, resulta em fatores econômicos e competitivos para as organizações. Ainda segundo os autores, a ação da ergonomia tem garantido melhores condições de saúde, segurança, relações interpessoais e, ainda, sucesso técnico, econômico e financeiro com o aumento da motivação dos trabalhadores.

Para os fabricantes e indústrias, o estudo da ergonomia é muito recente visto que os consumidores começaram a exigir melhorias ergonômicas em decorrência de alterações fisiológicas e psicológicas que comprometem a saúde do trabalhador e sua eficiência no trabalho (SCHLOSSER, 2002).

Em decorrência do aumento da importância da ergonomia, as instituições de ensino e indústrias utilizam cada vez mais a interdisciplinaridade para soluções de engenharia de uma forma geral, principalmente no que se refere ao bem-estar da população. A ergonomia associa-se a várias disciplinas que são os pilares que sustentam sua base científica e tecnológica. A

correta utilização da multidisciplinariedade é muito importante para a definição de projetos visando o bem-estar de um público específico, o que seria facilmente mascarado por uma determinada área do conhecimento. Verifica-se, ainda, que por meio da relação entre acessibilidade, antropometria, projeto ergonômico e universal, ergonomia e usabilidade é possível buscar soluções mais condizentes com a real necessidade do usuário (PASCHOARELLI; MENEZES, 2009).

Muitos profissionais, além dos ergonomistas, podem aplicar o conhecimento de ergonomia. Nessa lista de profissionais pode incluir engenheiros, designer, enfermeiros, fisioterapeutas, médicos do trabalho, psicólogos, entre outros (DUL; WEERDMEESTER, 2004).

De acordo com Wisner (1987), a ergonomia pode ser classificada em ergonomia de concepção, correção e conscientização. Conforme Vergara (2005), a ergonomia de concepção é a mais indicada, pois permite recomendações de projetos para o desenvolvimento, sem necessitar, posteriormente, de correções por erros de projetos. A ergonomia de correção se dá quando é necessário resolver problemas existentes no produto, enquanto a ergonomia de conscientização se faz necessária para reforçar e aplicar conceitos aos usuários de determinados equipamentos quando os problemas não foram totalmente resolvidos nas fases anteriores.

Para Dul e Weerdmeester (2004), muitas situações do cotidiano e do trabalho podem acarretar em doenças aos seres humanos, por exemplo: doenças no sistema musculoesquelético como dores nas costas e psicológicas como o estresse. Nota-se que essas situações são ocasionadas por conta de erros de projetos e uso incorreto de equipamentos, sistemas e tarefas. Ainda segundo os autores, a ergonomia pode auxiliar na redução desses problemas.

De acordo com Flimel e Dupláková (2017), em um sistema de trabalho o fator humano é considerado o elemento mais vulnerável e sensível e, por conta disso, se faz necessário prever e corrigir os fatores que ameaçam a integridade humana.

Visando regulamentar o conceito de ergonomia no ambiente de trabalho, publicou-se, em 1978, com a Portaria nº 3.214 do MTE que aprovou as Normas Regulamentadoras, a NR-17 (2007) que tem como objetivo estabelecer critérios que possam adaptar as condições de trabalho às características dos trabalhadores e, dessa forma, proporcionar máximo conforto, segurança e desempenho.

Mas, na contramão do conceito de ergonomia e bem-estar de usuários de equipamentos mecânicos e, mais especificamente, de trabalhadores, tem-se um grave problema que é o acidente de trabalho. Primeiramente, é essencial a correta definição do que é acidente de trabalho. Conforme dispõe o art. 19 da Lei de Benefícios da Previdência Social nº 8.213/91,

[...] acidente de trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do art. 11 desta Lei, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho.

Tal definição refere-se a acidente de trabalho típico, tem-se, ainda, a doença profissional e doença do trabalho. Os incisos do art. 20 da Lei nº 8.213/91 as conceitua como:

- Doença profissional: desencadeada pelo exercício do trabalho peculiar a determinada atividade e constante da respectiva relação elaborada pelo Ministério do Trabalho e da Previdência Social;
- Doença do trabalho: desencadeada em função de condições especiais em que o trabalho é realizado e com ele relacione diretamente.

A partir de 2007, surgiu o Nexo Técnico Epidemiológico Previdenciário (NTEP) que apresenta a relação entre lesões e as atividades que são desenvolvidas pelos trabalhadores.

Os acidentes de trabalho podem afastar o trabalhador por um determinado período ou até mesmo para o resto da vida a depender da gravidade das lesões sofridas. O Anuário Estatístico de Acidente de Trabalho (AEAT, 2015) registrou uma queda do número de acidentes de trabalho no Brasil, passando para 612.632 casos registrados em 2015 contra 712.302 em 2014 e 725.664 em 2013.

Mais especificamente para acidente de trabalho no campo, segundo Debiasi, Schlosser e Willes (2004), são poucas as pesquisas que vem sendo realizadas para que, dessa forma, possa ter disponível uma base de dados que auxilie no controle da frequência e na gravidade dos acidentes. Ainda segundo os autores, para se alcançar o objetivo de ter essa base de dados é necessário determinar as causas do acidente para que, assim, possa elaborar estratégias de prevenção.

A maioria das atividades agrícolas expõe o trabalhador rural a altos riscos ocupacionais e, por conta disso, são consideradas atividades de elevado risco. Os poucos registros oficiais e estudos sobre o tema, no Brasil, faz com que a dimensão dos problemas de saúde do trabalhador rural não seja bem estabelecida (FARIA, 2005).

No estudo realizado por Bastos e Bifano (2017) sobre a produção científica nacional na visão ergonômica para a agricultura familiar, concluiu-se que os estudos ergonômicos são fundamentais para melhorar a qualidade de vida e, também, o desempenho dos trabalhadores rurais já que alguns fatores como movimento repetitivo, má postura, intoxicações entre outros, são responsáveis por doenças e distúrbios.

Ferramentas manuais são equipamentos amplamente utilizados nas indústrias para melhorar a capacidade dos trabalhadores. Porém, erros de projeto juntamente com o excesso de uso podem acarretar em graves lesões (SASIKUMAR; LENIN, 2016). Além desses fatores, Mallick (2010) comenta que os trabalhadores possuem pouca consciência do malefício que a vibração, durante o uso de ferramentas manuais, pode causar.

Para diminuição da vibração e ruído que trabalhadores ficam expostos durante a jornada de trabalho, alguns estudos tratam de métodos organizacionais como a rotação de trabalho para que o trabalhador não fique exposto, durante grandes períodos de tempo, às variáveis prejudiciais (FLIMEL; DUPLÁKOVÁ, 2017).

Nota-se, então, que a conscientização de riscos e segurança, juntamente com conceitos de ergonomia, torna-se de extrema importância no que remete a segurança e conforto de trabalhadores e operadores de determinados equipamentos mecânicos. Rothstein *et al.* (2013) concluíram que o ato de informar o trabalhador sobre segurança e saúde, ergonomia e consciência corporal, através de cursos didáticos interativos, pode trazer consequências importantes para a prevenção de doenças ocupacionais.

## **2.2.Motores de combustão interna**

De acordo com Poletto Filho (2013), para as máquinas agrícolas há predomínio de motores de combustão interna e, mais precisamente para o presente trabalho, roçadoras laterais motorizadas utilizam motores dois tempos.

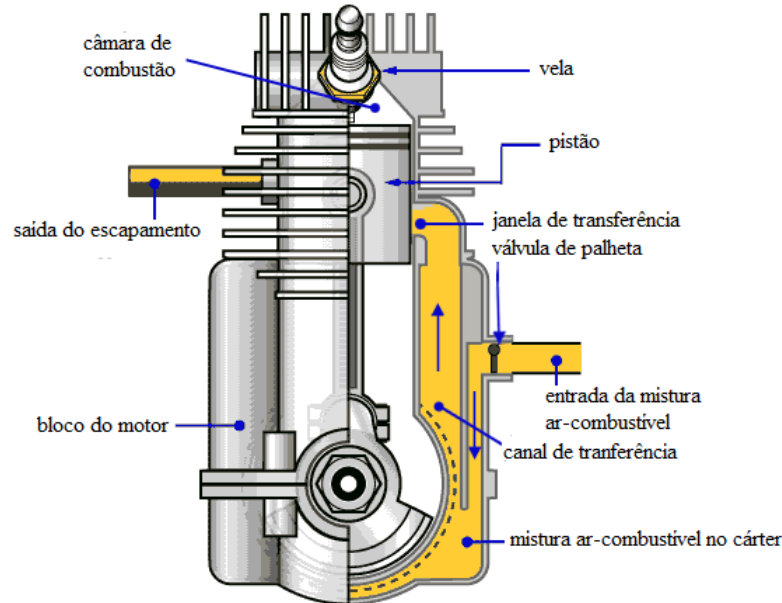
Os motores de combustão interna têm como objetivo transformar a energia química do combustível em energia mecânica, através da queima da mistura do combustível com o ar (HEYWOOD, 1988). Os motores são máquinas térmicas e para Carvalho (2011), as máquinas térmicas cumprem função de servir como propulsoras para os mais variados veículos. Mas existe uma grande limitação de eficiência nesse tipo de máquina, já que há um potencial de energia não aproveitada como trabalho e que é transformada em outras formas de energia, principalmente em calor.

De acordo com Heywood (1988), existem diversas classificações de motores de combustão interna. Uma dessas classificações e que é considerada como uma subcategoria dentro das classificações mais básicas refere-se ao número de ciclos de operação do motor: motores dois ou quatro tempos.

No ano de 1880, Dugald Clerk, James Robson e Karl Benz desenvolveram o motor dois tempos que tinha como vantagem a geração de potência para cada movimento do pistão (TILLMANN, 2013). Para Poletto Filho (2013), o motor dois tempos tem como principal

elemento construtivo o pistão, que atua como êmbolo, compressor e uma válvula deslizante, que abre e fecha a entrada e a saída por onde a mistura ar-combustível é admitida e que os gases queimados são expulsos. De acordo com Tillmann (2013), os motores dois tempos, mais simples e menores, são adequados para máquinas de pequenas potências, mas esse tipo de motor pode ser utilizado em máquinas de grande porte.

Figura 2.2 – Desenho esquemático de um motor dois tempos.



Fonte: <http://static.hsw.com.br/gif/two-stroke-parts.gif>

Para o presente trabalho em que as variáveis discutidas e estudadas são a vibração e o ruído, comentou-se, a seguir, a vibração que é causada por motores de combustão interna e, também, o ruído causado por esses motores.

De acordo com Corrêa (2003), com o funcionamento do motor de combustão interna, entre a compressão e a expansão dos gases gerados por conta da explosão, forças de excitação são exercidas sobre o pistão e na cabeça do cilindro e, tais forças, geram vibração e ruído oriundos da combustão.

### 2.2.1. Vibração em motores

A vibração em motores pode ser dividida em duas categorias conforme explicado a seguir por Taylor (1976):

- Vibração interna do motor: na estrutura do motor, a inércia das partes móveis e a pressão que é variável do gás nos cilindros geram forças que resultam em deflexões nos membros estruturais do motor, pelo fato dessas peças serem elásticas. Por conta disso, vibrações

de amplitudes e frequências variáveis surgem na estrutura do motor. Para os motores que as forças aplicadas variam com o tempo ocorrem movimentos vibratórios e, na prática, esse movimento deve ser controlado para que evite mau funcionamento, falhas mecânicas e ruído excessivo. Para um motor de combustão interna, é bastante evidente que a vibração na estrutura tenha um número indefinido de modos e frequências. As frequências mais altas da vibração geram ruídos;

- Vibração externa do motor: entendida como a vibração da estrutura como um todo. É provocada por forças, momentos e conjugados de inércia desbalanceados e pelas variações no torque transmitido para o virabrequim.

### **2.2.2. Ruído em motores**

De acordo com Taylor (1976), os fatores que causam ruídos no motor podem ser classificados como ruído mecânico provenientes de impactos dos pistões, peças de comando de válvulas, mancais, dentes de engrenagens, etc.; ruído devido às vibrações resultantes da combustão e ruído da admissão e descarga.

Corrêa (2003) explica que o ruído mecânico gerado nos motores de combustão interna ocorre por conta de variações cíclicas ocasionadas durante o funcionamento do motor que, por sua vez, geram vibrações decorrentes das forças de impacto, produzindo ruído que se propaga por alguns componentes como tampa de válvulas, reservatório de óleo e outros. Ocorrem, também, vibrações nas paredes do cilindro e dos dutos d'água resultantes das forças da batida do pistão. Outras forças de impacto têm suas origens no movimento entre o virabrequim e os mancais devido às folgas ali existentes. Essas vibrações são transmitidas pela estrutura para as superfícies externas do motor e, dessa forma, o ruído é irradiado.

### **2.3. Vibração**

O conhecimento dos instrumentos musicais despertou o interesse de pesquisadores em estudar a vibração. Desde então, esse é um assunto e fenômeno que ganhou extrema importância na engenharia moderna, principalmente quando se refere a projetos de máquinas, saúde e bem-estar de usuários de equipamentos mecânicos (RAO, 2008).

Algumas das atividades humanas envolvem formas de vibração. Pode-se ouvir por conta da vibração do tímpano, vê-se porque ondas luminosas se propagam. A respiração se dá por conta da oscilação dos pulmões, os batimentos do coração são movimentos vibratórios, fundamenta-se a fala por conta da vibração das cordas vocais e os movimentos humanos envolvem oscilações dos braços e pernas. Outros campos da atividade humana apresentam

variáveis com comportamento oscilatório tais como economia, biologia, química, física, etc. No aspecto tecnológico as aplicações de vibrações na engenharia são muito importantes, já que projetos de máquinas, fundações, estruturas, motores, turbinas e outros, exigem que a vibração seja levada em conta (SOEIRO, 2011).

A vibração pode ser definida como o movimento que o corpo executa em torno de um ponto fixo, podendo ser regular, senoidal ou irregular. É determinada por três variáveis: frequência, em ciclos por segundo ou Hertz (Hz); medida em gravidade ( $1g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ) e a terceira variável é a direção do movimento definido por três eixos tri-ortogonal, x, y e z (IIDA; BUARQUE, 2016).

Conforme Rao (2008), a vibração ou oscilação é o movimento que se repete após um intervalo de tempo. Para Kroemer e Grandjean (2005), as vibrações são consideradas como oscilação de um corpo em relação a um ponto fixo e os movimentos periódicos podem ser regulares ou irregulares de uma ferramenta, veículo ou outro qualquer outro mecanismo. Já para Baad e Qaimi (2016), a vibração é considerada como um distúrbio físico que pode ocorrer em máquinas e automóveis.

Melo (2006) explica que a intensidade da vibração está relacionada com a extensão da oscilação e que pode ser quantificada pelo deslocamento, velocidade ou aceleração. O autor ainda comenta que a aceleração parece traduzir de forma mais fiel a severidade da vibração em termos de intensidade do que o deslocamento e a velocidade. A aceleração é expressa em  $\text{m/s}^2$  ou em g, mas em alguns casos pode recorrer à escala logarítmica.

Existem classificações de vibração. Rao (2008) apresenta algumas delas:

- Vibração Livre: ocasionado quando um sistema continua a vibrar depois de uma perturbação inicial. Nenhuma força externa age sobre o sistema. O movimento de um pêndulo simples é um exemplo.

- Vibração Forçada: ocasionado quando um sistema está sujeito a uma vibração externa. A oscilação de máquinas é um exemplo desse tipo de vibração.

Ximenes (2006) aponta que, em alguns casos, a vibração é desejável quando se realiza determinado tipo de trabalho. O autor ainda cita alguns exemplos como a vibração em dispositivos alimentadores de componentes ou peças numa linha de produção, em peneiras vibratórias, em banhos de limpeza ultrassônicos, em compactadores de concretos, perfuradores, britadores e bate-estacas.

Para as máquinas utilizadas na presente pesquisa, Hao, Ean e Ripin (2011) comentam que as roçadoras são muito utilizadas em países tropicais para manutenção periódica de grandes áreas de vegetação e, dessa forma, surgiram indústrias de serviço com elevado número de



trabalhadores que utilizam esse tipo de equipamento. Ainda segundo os autores, o atual projeto de roçadoras não possui dispositivos para reduzir a vibração que é transmitida até a empunhadura, podendo, então, acarretar fadiga, dormência e outros malefícios.

De acordo com Gomes e Savionek (2014), para a exposição humana à vibração, tem-se as classificações de Vibração de Corpo Inteiro (VCI) e Vibração em Mãos e Braços (VMB). A VCI afeta o corpo humano em uma faixa de frequência de 0,5 a 80 Hz e esse tipo de vibração está muito presente em sistemas de transporte. A VMB afeta o sistema mãos-braços em uma faixa de frequência de 6,3 a 1250 Hz e está presente, por exemplo, em ferramentas manuais oscilatórias. Os autores afirmam, ainda, que essa classificação é formal e uma pessoa pode estar sujeita a ambos os tipos de vibração simultaneamente.

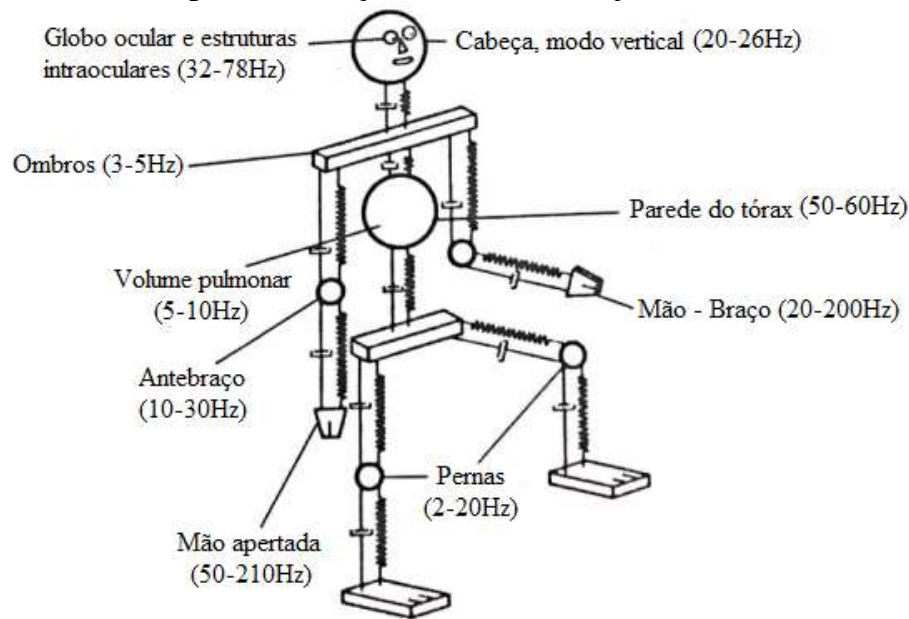
A associação com a utilização de ferramentas elétricas vibratórias e os efeitos que essa exposição à vibração pode ocasionar ao sistema mãos e braços dos operadores de tais equipamentos, é conhecida há cerca de um século (HEWITT *et al.*, 2016).

Segundo Ainsa *et. al* (2011), milhares de pessoas, no mundo todo, utilizam ferramentas portáteis que deixam os usuários suscetíveis à vibração no sistema mãos-braços e, dessa forma, podem sofrer a Síndrome da Vibração em Mãos e Braços. Tal síndrome pode acarretar em distúrbios circulatórios, musculoesqueléticos e sensoriais. Uma das formas de analisar o risco que os operadores de ferramentas portáteis estão expostos é através da medição da vibração no local de trabalho.

Vendrame (2005) comenta sobre ressonância no corpo humano. De acordo com o autor, o corpo humano possui frequências naturais e se a frequência de uma excitação externa coincidir com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, ocasionando a amplificação do movimento. A energia vibratória é absorvida pelo corpo e a atenuação é promovida pelos tecidos e órgãos. Para o autor, o corpo humano reage às vibrações de forma distinta, a sensibilidade às vibrações longitudinais, representado pelo eixo z da coluna vertebral, é diferente da sensibilidade transversal, representado pelos eixos x ou y ao longo dos braços ou através do tórax. Em cada uma das direções, a sensibilidade varia com a frequência.

A Figura 2.3 a seguir, mostra o corpo humano como um sistema mecânico e as diversas frequências de ressonância.

Figura 2.3 – Frequência natural do corpo humano.



Fonte: adaptado de Gerges (2000).

Para a vibração no corpo humano e seus efeitos no organismo, há fatores que são considerados para caracterização de risco, pode-se destacar alguns deles: amplitude da vibração, frequência, direção, área de contato e o tempo de exposição do trabalhador à vibração (BAAD; QAIMI, 2016; SOEIRO, 2011). Porém, Vihlborg *et al.* (2017) comentam que não há uma clara relação entre a saúde afetada com a intensidade e frequência da vibração e a duração da exposição.

Para Melo (2006), é compreensível considerar que os efeitos da vibração no corpo humano são mais pronunciados quanto maior o tempo de exposição à vibração. Porém, em algumas situações, a intensidade da vibração pode ser o fator determinante para a reação do corpo humano.

Vendrame (2005) cita alguns dos efeitos da vibração que foram catalogados:

- Perda de equilíbrio e lentidão nos reflexos;
- Alteração no sistema cardíaco acarretando o aumento da frequência cardíaca;
- Efeitos psicológicos que tem como efeito a falta de concentração;
- Distúrbios visuais com efeito mais comum a visão turva;
- Efeitos no sistema gastrointestinal, tais como: enjojo, gastrites e ulcerações;
- Manifestação do mal do movimento, como a cinetose;
- Comprometimento de alguns órgãos do corpo;
- Degeneração do tecido muscular e nervoso quando submetidos à vibração localizada, também conhecida como patologia dos “dedos brancos”.

Não é surpresa que a vibração no corpo humano, estrutura complexa, dinâmica e inteligente, não resulte em uma única consequência, simples e previsível. A exposição humana à vibração pode proporcionar inúmeras complicações, indo desde o desconforto até perturbações e pode, inclusive, provocar distúrbios fisiológicos, patológicos e psicológicos de intensidade variável (MELO, 2006).

Mais especificamente para mãos e braços, a conhecida Síndrome da Vibração em Mãos e Braços é um problema ocasionado devido a sua exposição durante o uso de ferramenta rotativa, percussão elétrica ou no contato das mãos com superfícies vibrantes. As alterações comuns são da ordem vascular, neurológicas e musculoesqueléticas (HOUSE, 2010).

Savionek e Gomes (2012) explicam, também, que as vibrações transmitidas para as mãos e braços podem ocasionar distúrbios, independente ou simultaneamente, de ordem vascular, neurológicas e musculoesqueléticas. Os autores comentam, ainda, que um dos principais problemas ocasionados pela vibração no sistema mãos-braços é o fenômeno de Raynaud ou doença dos “dedos brancos”, como é conhecida popularmente, que acarreta a diminuição da irrigação e branqueamento das extremidades dos dedos. Porém, Fiedler *et al.* (2010) explicam que a longa exposição ao frio é um dos agravantes dessa doença.

Futatsuka *et al.* (2005) deduziu, em seu trabalho, que os trabalhadores expostos aos altos níveis de vibração nas pedreiras do Vietnã não apresentaram sintomas dos “dedos brancos” por alguns fatores considerados pelo autor: realização de tarefas em ambientes quentes, trabalhadores jovens e saudáveis e impossibilidade de realizar determinadas tarefas durante estações chuvosas que duram entre 2 a 3 meses no ano. Além disso, Mbutshu *et al.* (2014) concluiu que o tabagismo é um fator que aumenta o risco de doenças musculoesqueléticas ocasionadas por vibrações em mãos e braços.

Um importante estudo a respeito do tema é o de Poole e Cleveland (2016). Em seu trabalho, os autores realizaram um estudo para um melhor diagnóstico da Síndrome da Vibração em Mãos e Braços a ser diagnosticada através da angiografia por ressonância magnética, técnica considerada pelos autores como segura e minimamente invasiva.

Pode-se visualizar o efeito da doença dos “dedos brancos” na Figura 2.4 a seguir.

Figura 2.4 – Fenômeno de Raynaud ou doença dos dedos brancos.



Fonte: SILVA *et al.* (2011).

Segundo Fiedler *et al.* (2010), o estudo da vibração no sistema mãos e braços é muito recente no Brasil e, dessa forma, há uma grande dificuldade em encontrar metodologias e bibliografias para discussão e análise. De acordo com Poletto Filho, Santos e Poletto (2015), a normatização nacional para agente físico vibração, não existia até o ano de 2011. Ainda segundo os autores, foi em 2012 que a Fundacentro publicou dois protocolos técnicos para análise da vibração no corpo humano, NHO-09 e NHO-10 para vibração em corpo inteiro e para mãos e braços, respectivamente.

Percebe-se a importância de controlar, isolar e compreender a vibração que afeta o ser humano. Para Fiedler *et al.* (2010), a melhor maneira de controlar e atenuar a exposição à vibração é através de medidas organizacionais conhecidas, também, como controle administrativo. Tais controles afetam diretamente na duração da exposição dos trabalhadores à vibração. Ainda segundo os autores, entre as medidas mais usadas para controle da vibração estão: aquisição de máquinas com projetos que visem à adequação quanto ao limite de vibração; revezamento dos trabalhadores que estão expostos a diferentes níveis de vibração; pausa e repouso que previna uma longa exposição à vibração e escolha de trabalho alternativo.

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

Para redução da vibração transmitida às mãos do ser humano, Kroemer e Grandjean (2005) comentam que a utilização de amortecedores na ferramenta e entre a ferramenta e a empunhadura, onde é transmitida a vibração, podem reduzi-la. Material flexível usado na empunhadura pode acarretar em amortecimento. Além disso, os autores explicam que o uso de luvas grossas e evitar o trabalho em condições frias podem levar a melhorias.

A Diretiva 2006/42/EC de 17 de maio (EUROPEAN COMMISSION, 2006) é conhecida como “Diretiva Máquinas”, tem como objetivo regulamentar a entrada em serviço de máquinas novas. Tal Diretiva estabelece que as máquinas devem ser produzidas e fabricadas visando reduzir o risco decorrente da vibração, por elas produzidas, ao nível mais baixo.

De acordo com Iida e Buarque (2016), muitas são as formas de reduzir a vibração e, consequentemente, os efeitos nos operadores de máquinas e ferramentas manuais, pode-se citar:

- Redução na fonte: pode-se reduzir através de reprojeto de máquinas ou através da substituição de material;
- Isolamento da fonte: toma-se essa atitude quando a redução na fonte não é possível. Essa alternativa se dá através do afastamento da fonte, utilização de material isolante ou adequando o período para que a máquina trabalhe de forma que não coincida com o período de trabalho do homem;
- Amortecer a transmissão: amortecimento de forma que atenua a transmissão da fonte até o trabalhador;
- Pausas no trabalho: são necessárias quando a vibração for contínua de modo que o operador não fique exposto a longos períodos de vibração.

Mallick (2010) concluiu em seu trabalho que para um melhor desempenho da redução de vibração transmitida às mãos de operadores de roçadoras, o material utilizado no guidão apresentou melhores resultados, seguido da velocidade do motor e do comprimento da linha de nylon utilizado no corte da vegetação.

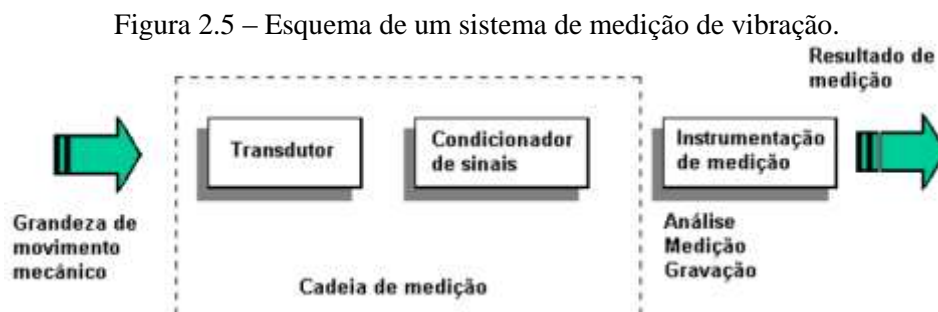
De acordo com Ximenes (2006), como a preocupação com o isolamento e redução da vibração tem se tornado parte de projeto, torna-se cada vez mais necessário a análise e medição da vibração. Ainda segundo o autor, a forma de avaliação da vibração é similar à do ruído com a medição da aceleração em valor eficaz, ponderação em função da frequência, consideração do tempo de exposição e comparação dos valores obtidos com os estabelecidos pela norma.

### **2.3.1. Medidores de vibração**

Para Ximenes (2006), a medição da vibração é feita por meio de um transdutor ou acelerômetro, sendo o acelerômetro o elemento que capta o movimento vibratório e transforma em uma grandeza mensurável, isto é, transforma em um sinal de saída elétrico, mecânico ou óptico, proporcional ao deslocamento submetido pela aceleração. Os tipos mais comuns de acelerômetros são: piezoelétrico, piezoelétrico com eletrônica integrada (ICP), piezoresistivo, capacitância variável e servo-acelerômetro.

É importante que o transdutor esteja com a sensibilidade de acordo com a carta do fabricante. Ximenes (2006) explica que a sensibilidade é a relação entre o sinal de saída do transdutor e a entrada mecânica. A sensibilidade é expressa da seguinte forma:  $\text{mV}/\text{ms}^{-2}$  e  $\text{pC}/\text{ms}^{-2}$  para o sistema de unidades SI ou  $\text{mV}/\text{g}$  e  $\text{pC}/\text{g}$  em que  $g$  é a aceleração da gravidade com valor de  $9,80665 \text{ m/s}^2$ . O autor ainda explica que os filtros de ponderação de frequência, utilizados nos dispositivos de medição da vibração, são usados para comparar as vibrações que foram mensuradas com as normas em vigor, já que só é permitida a passagem de determinados componentes de frequência pela função passa-bandas.

A Figura 2.5 mostra um esquema básico de um sistema de medição.



Fonte: Ximenes (2006).

Para os instrumentos de medição da vibração, Araújo (2008) estabelece algumas importantes caracterizações:

- Sensor: instrumento sensível a movimentos causados pelo funcionamento de máquinas;
- Detector: capaz de detectar e alertar certos níveis de vibração, mas não necessariamente quantificá-la;
- Transdutor: fornece um sinal proporcional à vibração tornando, assim, possível quantificá-la.

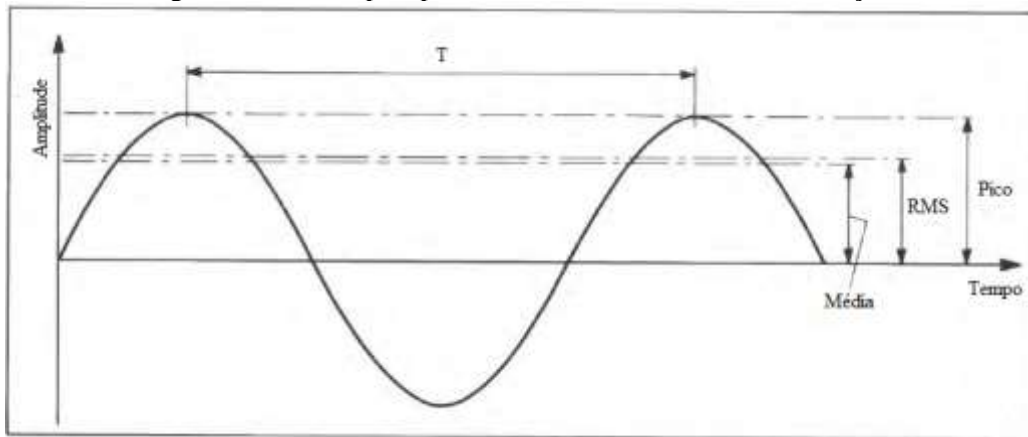
Mais especificamente para medidores de vibração humana, tais dispositivos possibilitam leituras simultâneas triaxiais (x, y e z), com filtros de ponderação para cada um dos eixos e, dessa forma, permite medir o nível de exposição do trabalhador à vibração no sistema mãos-braços, no corpo inteiro, na avaliação ergonômica, no estudo de desempenho de ferramentas manuais e na determinação de eficiência de luvas antivibração (XIMENES, 2006).

De acordo com Ximenes (2006), a medida mais importante e utilizada é o valor da raiz média quadrática (rms), pois mostra a média da energia contida no movimento vibratório e

indica, dessa forma, o potencial destrutivo da vibração. É utilizado, também, em análises de manutenção de máquinas.

Saliba (2013) comenta, também, que o valor de pico, pico a pico e rms são os principais parâmetros relacionados com a amplitude da vibração. O valor de pico representa a máxima aceleração em um período de tempo, o valor de pico a pico representa a distância do valor máximo e mínimo, e o valor rms é considerado a medida mais importante e representa a média da energia da vibração. Pode-se visualizar os principais parâmetros de medição da vibração na Figura 2.6.

Figura 2.6 – Principais parâmetros relacionados com a vibração.



Fonte: adaptado de Brüel & Kjær (1984).

A solução do valor da raiz média quadrática é dada a seguir pelas Equações 2.1 e 2.2.

$$\text{RMS} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

Sendo RMS a aceleração equivalente, T é o período ou tempo de exposição e a(t) é aceleração instantânea correspondente a um tempo t.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} a_i^2}{N}} \quad (2.2)$$

Sendo  $a_i$  aceleração instantânea correspondente a um tempo t e N é o número de amostras de acelerações.

### 2.3.2. Normas e legislação da vibração

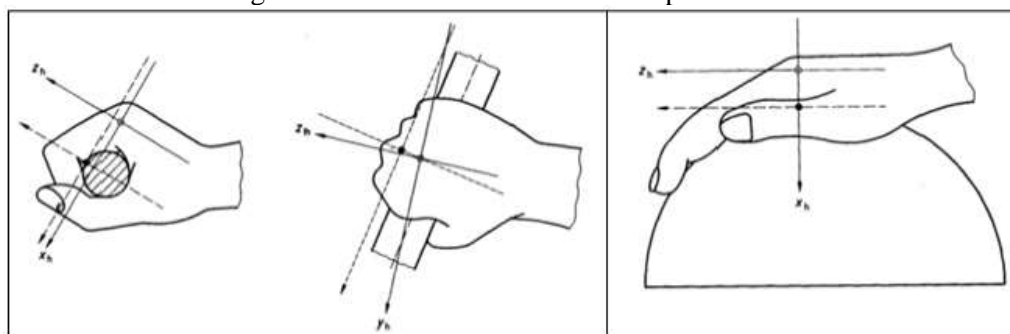
A norma internacional que estabelece os critérios para medição e avaliação das vibrações em mãos e braços é a ISO 5349 (2001). Na última revisão, essa norma foi subdividida em duas partes. A primeira contém os aspectos gerais e a segunda apresenta um guia para avaliação da exposição da vibração nos locais de trabalho. Em complemento com a ISO 5349 (2001), tem-se a Diretiva 2002/44/EC da Comunidade Europeia que estabelece os limites de exposição à vibração em mãos e braços.

Algumas informações, procedimentos e formas de montagens dos acelerômetros estão presentes na ISO 5349 (2001), sendo que são considerados, para a referida norma, alguns fatores que influenciam os efeitos da vibração nas mãos e braços nas condições de trabalho, tais como frequência e magnitude da vibração, duração da exposição por dia de trabalho e a exposição acumulada.

Segundo a ISO 5349 (2001), para realizar a avaliação da vibração, os transdutores devem ser capazes de suportar a faixa de amplitudes de vibração e ter características estáveis. As dimensões dos transdutores devem ser tal que não interfiram ou atrapalhem no funcionamento da máquina.

Ainda segundo a ISO 5349 (2001), durante a realização dos testes nas mãos e braços dos operadores, deverá ser respeitado e indicado as direções do sistema de coordenadas ortogonais, assim como é mostrado na Figura 2.7. Deve-se, preferencialmente, realizar a medição simultânea da vibração nos três eixos. Porém, pode-se realizar as medições sequencialmente ao longo de cada eixo, desde que as condições de funcionamento e de trabalho sejam semelhantes. As medições devem ser feitas sobre as superfícies vibratórias ou o mais próximo possível.

Figura 2.7 – Sistema de coordenadas para a mão.

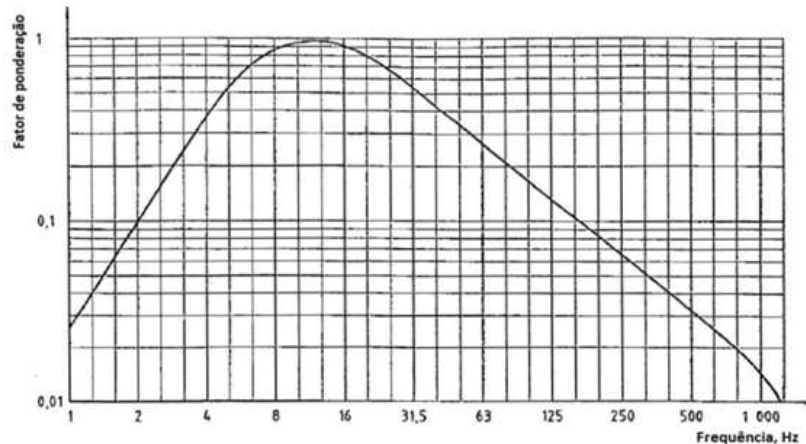


Fonte: ISO 5349 (2001).



A vibração medida será a aceleração ponderada em frequência, em rms – raiz média quadrática e expressa em metros por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ ). A aceleração ponderada em frequência requer a utilização de uma ponderação de frequência e de filtros de banda. A ponderação,  $W_h$ , reflete a importância e a severidade de cada frequência para causar danos à mão (ISO 5349, 2001). Pode-se visualizar a curva de ponderação em frequência na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Curva de ponderação em frequência  $W_h$  para vibrações nas mãos e braços.



Fonte: ISO 5349 (2001).

Pesquisadores e instituições questionam a curva de ponderação mostrada na Figura 2.8 por subestimar ou superestimar determinadas frequências a depender do tipo de ferramenta e das condições que os operadores estão expostos (CUNHA, 2006). Além disso, alguns estudos sugerem que a ponderação de frequência da ISO 5349 (2001) subestima a vibração em altas frequências e que a mesma pode ser prejudicial para o sistema mãos e braços (DONG *et al.* 2004; BOVENZI, 2010).

Para a curva de ponderação em frequência, Griffin (1997) comenta que as ferramentas que vibram em frequências baixas dominantes, a vibração terá um grau de importância maior para uma aceleração ponderada em frequência do que para uma aceleração não ponderada.

Conforme ISO 5349 (2001), as ferramentas que transmitem vibrações às mãos e braços tem contribuição dos três eixos ortogonais e as direções são igualmente prejudiciais ao ser humano. Portanto, a avaliação da exposição à vibração baseia-se em uma quantidade combinada dos três eixos como é possível visualizar na Equação 2.3.

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (2.3)$$

A medição da exposição da vibração depende da magnitude e do tempo de exposição, assim como pode ser visualizado na Equação 2.4.

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2.4)$$

Sendo T o tempo total de exposição à vibração  $a_{hv}$ ,  $T_0$  o tempo de referência de duração de 8 horas de jornada de trabalho (28800 s) e  $a_{hv}$  a aceleração ponderada em frequência e combinada dos três eixos ortogonais.

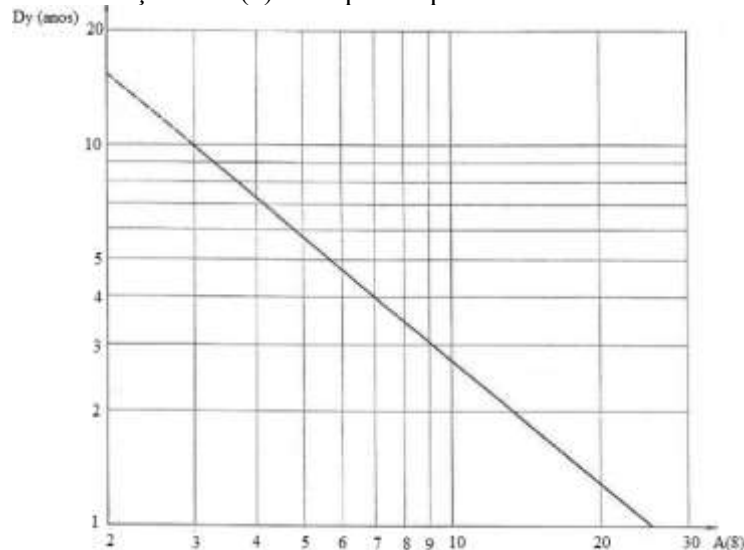
A ISO 5349 (2001) fornece, ainda, a equação para situação em que o trabalhador fica exposto a várias operações, com diferentes equipamentos e magnitudes de vibração. A medição da exposição é dada pela Equação 2.5.

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (2.5)$$

Sendo  $a_{hvi}$  o valor da vibração para as diferentes operações, n o número total de operações e  $T_i$  a duração de cada operação durante a jornada de trabalho.

A ISO 5349 (2001) não fornece limites de segurança para exposição da vibração em mãos e braços, mas fornece um guia, em que é possível visualizar através da Figura 2.9 e da Tabela 2.1, que associa o valor de A(8) com o tempo para o aparecimento da patologia “dedos brancos” para um grupo de 10% de pessoas expostas.

Figura 2.9 – Relação de A(8) e tempo de aparecimento dos “dedos brancos”.



Fonte: Modificado da ISO 5349 (2001).

Tabela 2.1 – Relação de A(8) para aparecimento da patologia “dedos brancos”.

D <sub>y</sub> [anos]	1	2	4	8
A(8) [m/s <sup>2</sup> ]	26	14	7	3,7

Fonte: ISO 5349 (2001).

Pode-se associar, também, o valor de A(8) com D<sub>y</sub> com a Equação 2.6 a seguir.

$$D_y = 31,8. [A(8)]^{-1,06} \quad (2.6)$$

Sendo D<sub>y</sub> o tempo (anos) para 10% do grupo apresentar “dedos brancos”.

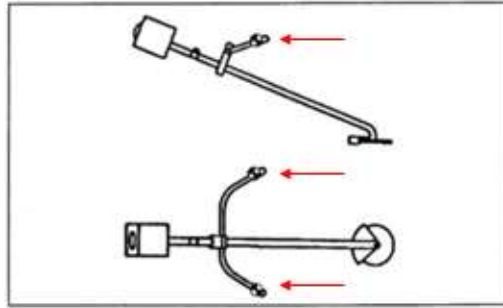
Segundo a ISO 5349 (2001), a medição da vibração em mãos e braços deve ser uma média ao longo de um período que representa o uso típico da ferramenta manuseada pelo operador. Sempre que possível, o período de medição deve começar quando o operador tem o primeiro contato na superfície vibrante e terminar quando finda o contato com a mesma superfície. Esse período pode sofrer variações na amplitude e até mesmo incluir períodos em que não há exposição à vibração.

A duração mínima aceitável de medições depende das características de sinal e do instrumento de medição. O tempo de medição deve ser de pelo menos 1 minuto. Medidas de muito curta duração, por exemplo, menos de 8 segundos, não são confiáveis. Sempre que as medições de duração muito curta são inevitáveis, é aconselhável ter mais do que três amostras para garantir um tempo de amostra superior a 1 minuto (ISO 5349, 2001).

De acordo com a ISO 5349 (2001), a fixação do acelerômetro deve ser feita de forma que não interfira no bom funcionamento da ferramenta mecânica, na característica da vibração e na operação normal das ferramentas pelos operadores e, dessa forma, a vibração analisada corresponderá à aceleração captada pelos operadores. A massa do acelerômetro é importante para a análise da vibração, quanto mais leve o acelerômetro, menor será o erro. A fixação do acelerômetro a uma superfície vibratória irá afetar a forma como tal superfícies vibra e, portanto, quanto maior a massa montada na ferramenta, maior será o efeito do acelerômetro na forma de vibrar da ferramenta.

Ainda segundo a ISO 5349 (2001), as medições devem ocorrer próximas à região onde a vibração é transmitida ao sistema mãos e braços, ou seja, na superfície da mão ou o mais próximo possível. A localização da montagem do acelerômetro é normalizada e, no caso de roçadoras laterais motorizadas, deve-se obedecer à posição indicada na Figura 2.10.

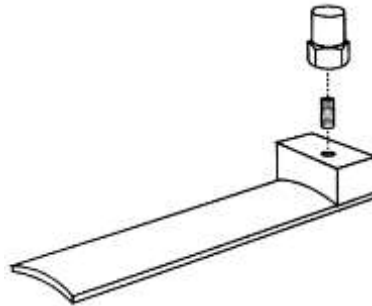
Figura 2.10 – Detalhe do local de fixação do acelerômetro.



Fonte: adaptado de ISO 5349 (2001).

A fixação do acelerômetro é possível graças à utilização de adaptadores que estão de acordo com ISO 5349 (2001). O desenho esquemático do adaptador utilizado na pesquisa é visto a seguir.

Figura 2.11 – Desenho esquemático do adaptador tipo barra.



Fonte: ISO 5349 (2001).

No dia 6 de julho de 2002 foi publicada, no jornal oficial das Comunidades Europeias, a Diretiva 2002/44/EC de 25 de junho de 2002 (EUROPEAN COMMISSION, 2002) que trata dos requisitos de saúde e segurança em relação aos riscos da exposição de trabalhadores à vibração. Para a presente Diretiva, entende-se como vibrações no sistema mãos e braços as vibrações mecânicas que, quando transmitidas ao sistema, implicam em riscos e prejuízos à saúde e segurança dos trabalhadores. Pode-se exemplificar tais riscos como perturbações vasculares, lesões osteoarticulares e perturbações neurológicas ou musculares.

Os valores limites estipulados pela Diretiva Europeia 2002/44/EC são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Nível de Ação e Limite de Exposição.

	<b>Nível de Ação A(8)</b>	<b>Limite de Exposição A(8)</b>
<b>Mãos e Braços</b>	2,5 m/s <sup>2</sup>	5,0 m/s <sup>2</sup>

Fonte: Diretiva 2002/44/EC (2002).

Os valores estipulados pela Diretiva Europeia 2002/44/EC em um período de referência de 8 horas – A(8) – e os métodos utilizados para medição da vibração nos trabalhadores estão em conformidade com a norma internacional ISO 5349 (2001).

Mais especificamente para o Brasil, é previsto, através da Norma Regulamentadora NR-15 (2014), Anexo 8, critérios para caracterização de trabalho insalubre decorrente da exposição às Vibrações de Mãos e Braços (VMB) e Vibrações de Corpo Inteiro (VCI). A referida norma prevê a utilização das Normas de Higiene Ocupacional (NHO) da Fundacentro para basear os procedimentos técnicos de avaliação da vibração.

A NHO 10 – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações em Mãos e Braços, utiliza como referências normativas a ISO 5349-1 (2001), ISO 5349-2 (2001) e a ISO 8041 (2005). Dessa forma, os procedimentos para avaliação da Vibração de Mãos e Braços são similares aos procedimentos da norma internacional ISO 5349 (2001) já expostos anteriormente.

A NR-15 (2014), Anexo 8, caracteriza como condição insalubre caso ultrapasse o limite de exposição ocupacional diária à Vibração de Mãos e Braços que corresponde a um valor de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de  $5 \text{ m/s}^2$ . Sendo que aren é determinada pela Equação 2.7.

$$\text{aren} = \text{are} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2.7)$$

Sendo are a aceleração resultante da exposição representativa da exposição ocupacional diária, T é o tempo de duração da jornada diária de trabalho em horas ou minutos e  $T_0$  é o tempo de referência de duração de 8 horas de jornada de trabalho.

#### **2.4. Ruído**

Além da vibração, o ruído é outra variável que causa problemas e distúrbios no corpo humano. De acordo com Carmo (1999), a preocupação com o ruído em relação ao meio ambiente e com a saúde humana é um problema considerado há 2500 anos. Iida e Buarque (2016) explicam que, apesar da subjetividade, a definição mais usual é do ruído como um som indesejável.

Gerges (2000) comenta que o som e ruído não são sinônimos, ou seja, o ruído é um tipo de som, mas não necessariamente o som é um ruído. Assim como comentado anteriormente,

ruído é um som desagradável e indesejável, já o som é a variação da pressão atmosférica que esteja no limite de amplitude e frequência nos quais o ouvido humano responde.

As ondas sonoras, que são consideradas como estímulos da audição, transportam energia de um ponto a outro do espaço, através de oscilações de vibrações que se propagam em meio elástico que são líquidos, gasosos ou sólidos, mas sem transporte de matéria. As dimensões físicas estão associadas à altura que são caracterizados por grave e agudo, que se relacionam com a frequência da onda, e a intensidade caracterizada por forte ou fraco e que se relaciona com a amplitude (CARMO, 1999).

Para Gerges (2000), os caminhos para a propagação de energia sonora são através da via aérea e, também, através de meios sólidos que são irradiados pela estrutura. Azevedo (2003) explica que a propagação do som no ar se dá através de ondas longitudinais, ou seja, a vibração das partículas ocorre na mesma direção da propagação da onda. Ainda segundo o autor, em sólidos existem vários tipos de ondas.

É importante conhecer as causas do ruído, principalmente na fonte que é o principal local para controle de ruído. De acordo com Fernandes (2010), o ruído gerado na fonte pode ser causado pelos seguintes fatores:

- Mecânicos: devido a choques, atritos ou vibrações. É fundamental observar as possíveis substituições de elementos que geram ruído na fonte ou diminuir a intensidade dos choques, atritos ou vibrações;

- Pneumáticos: devido à turbulência do ar no interior do duto e vibração da tubulação. Os ruídos são causados, geralmente, por variações da seção e pela rugosidade superficial no interior dos dutos. A maior causa de ruído, por fontes pneumáticas, é causado pelo gás de escape sob pressão. Algumas soluções podem ser aplicadas como diminuir a turbulência por conta da diminuição da seção dos dutos, câmaras atenuadoras, câmaras de expansão de gases, desvios para atenuação de várias frequências, câmaras com material absorvente, etc.

- Hidráulicos: semelhante à pneumática. Porém, em tubulações hidráulicas, podem ocorrer bolhas e cavitação que são grandes responsáveis pela geração do ruído. A solução é dada através da eliminação de grandes variações de pressão.

- Explosões e implosões: devido às mudanças súbitas de pressão do gás contido na câmara. Essa causa refere-se às máquinas que trabalham à explosão, dada a própria natureza da máquina. Nesses casos, a solução é controlar o ruído na trajetória.

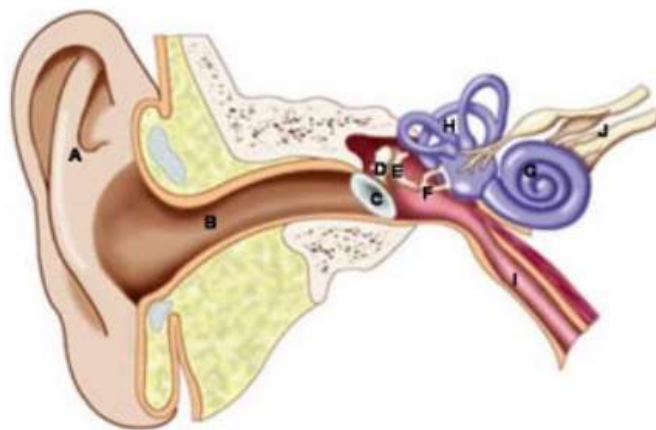
- Magnéticos: devido à vibração nas bobinas elétricas.

Para questões de ruído no Brasil, existem quatro Normas Regulamentadoras (NR) que tratam do assunto. A NR-6 (2015) refere-se às questões de equipamentos de proteção

individual, mais especificamente o protetor auricular, a NR-7 (2013) ao exame médico, com o exame audiométrico, a NR-9 (2017) à prevenção de riscos ambientais e a NR-15 (2014) às atividades e operações insalubres em que são definidos os limites de exposição ao ruído. Percebe-se, então, a importância desse assunto quando se refere ao ruído em ambientes de trabalho.

É importante que se entenda como é composto o sistema auditivo humano e como o som se propaga através dele. Bastos (2005) explica que o sistema auditivo periférico é composto por orelha externa, média e interna. A orelha externa é composta pela orelha e o canal que vai até o tímpano, a orelha média é composta pelo tímpano, membrana que vibra com as ondas sonoras, e ossículos que vibram com a vibração do tímpano. A orelha interna é composta pela cóclea, responsável pela audição, e pelo labirinto, responsável pelo equilíbrio. A Figura 2.12 representa o sistema auditivo.

Figura 2.12 – Sistema auditivo periférico.



(A-pavilhão auricular; B-meato acústico externo; C-membrana timpânica; D-martelo; E-bigorna; F-estribo; G-cóclea; H-canais semicirculares; I-tuba auditiva; J-nervo vestibulo coclear).

Fonte: Hyppolito (2005).

Para o ser humano ouvir, é necessário que ondas sonoras entrem pela orelha e atinjam o tímpano que começa a vibrar, isso faz com que os ossículos, localizados atrás do tímpano, se movam e transmitam essa vibração para a membrana que se encontra encostado no estribo. O movimento faz a membrana da cóclea, que contém milhares de células ciliadas conectadas a nervos, vibrar. Dessa forma, o cérebro recebe os impulsos que são transmitidos pelos nervos e, então, dá-se a audição (BASTOS, 2005).

De acordo com Araújo (2002), para evitar danos à saúde de trabalhadores, a medição dos níveis de ruído nos postos de trabalho é de extrema importância para redimensionar a carga horária de trabalho e, também, orientar para que se utilize o protetor auricular adequado. Ainda

segundo o autor, os fatores que produzem surdez precoce nos trabalhadores em metalúrgicas, devido à Perda Auditiva Induzida pelo Ruído (PAIR), é o elevado índice de ruído no ambiente de trabalho e a não utilização regular de protetores adequados.

É importante, ainda, que evite a combinação de ruído com fontes próximas umas das outras. Pode-se calcular o nível de pressão sonora de uma banda larga com os níveis de bandas estreitas através da Equação 2.8 conforme Bistafa (2011).

$$L_p = 10 \log \left( \sum_{i=1}^N 10^{(L_{pi}/10)} \right) \quad (2.8)$$

Sendo  $L_p$  o nível de pressão sonora da banda larga e  $L_{pi}$  o nível de pressão sonora da  $i$ -ésima banda estreita.

Segundo Carmo (1999), alguns fatores são importantes para potencializar as lesões auditivas por ruído, dentre eles pode-se citar: a duração ou tempo de exposição, a influência ou suscetibilidade que é variável entre os indivíduos e a continuidade e descontinuidade do ruído que trata da frequência e sensibilidade do som audível. Harger e Barbosa-Branco (2004) comentam que a PAIR é influenciada pelas características físicas do ruído, tais como tipo, espectro e pressão sonora, tempo de exposição e a suscetibilidade individual.

O elevado nível de ruído juntamente com longo tempo de exposição pode gerar sobrecarga no coração, causando secreções anormais de hormônios e tensão muscular, além de mudanças de comportamento como nervosismo, fadiga mental, frustração, queda de desempenho no trabalho, irritabilidade, fadiga e dificuldade em lidar com situações de conflitos sociais (GERGES, 2000).

Dul e Weerdmeester (2004) comentam que a partir de 80 dB(A) ocorre comprometimento e perturbação na comunicação e no trabalho intelectual. Esses ruídos podem ser provocados por pessoas, máquinas ou equipamentos. Segundo os autores, embora seja necessária a redução do nível de ruído, este não pode ser inferior a 30 dB(A). Isso se deve ao fato de que se houver ruído muito baixo, qualquer outro barulho acabará sobressaindo e distraindo a atenção.

Bastos (2005) mostra alguns dos efeitos do ruído à audição, ao ambiente de trabalho e ao organismo, como se observa a seguir:

- Efeitos do ruído à audição: trauma acústico como a surdez provocada por um ruído repentino, perda auditiva temporária ou permanente;



- Efeitos do ruído no ambiente de trabalho: problemas de comunicação, baixa concentração, desconforto, nervosismo, cansaço, baixo rendimento e causa de acidentes;
- Efeitos do ruído para o organismo: estreitamentos dos vasos sanguíneos, aumento da pressão sanguínea, contração muscular, ansiedade e tensão, alterações menstruais na mulher, impotência sexual no homem e zumbido.

Korfali e Massoud (2003) analisaram e verificaram o efeito do ruído para os habitantes da cidade de Beirute, Líbano, e concluíram que há grande relação de irritabilidade e a população exposta a altos níveis de ruído. Além disso, o ruído interferiu no bem-estar das pessoas e nas simples atividades do cotidiano, como manter uma janela aberta, ouvir rádio ou TV e trabalhar ou estudar.

Percebe-se, então, que é fundamental o controle do ruído no ambiente. Bistafa (2011) comenta que todo e qualquer problema com ruído, sempre envolve uma fonte como máquinas, tráfego, equipamentos e processos industriais, trajetória seja o ar, líquidos e estruturas sólidas e o receptor que é o homem. Sabido disso, Kroemer e Grandjean (2005) comentam que para diminuir o nível de ruído em fábricas e outros lugares, o ruído pode ser planejado para uma condição “sem ruído”, reduzindo o ruído na fonte, interferindo na trajetória e, conseqüentemente, na propagação e com a utilização de proteção individual.

De acordo com Haron *et al.* (2015), o ruído ocupacional pode causar diversos problemas para os trabalhadores, tais como efeitos primários como trauma acústico e zumbido, prejuízo na comunicação e no desempenho e outros efeitos como problema cardiovascular, estresse e pressão de sanguínea elevada. Para Tosin, Lanças e Araujo (2009), o ruído está presente em mais de 90% das atividades laborais existentes.

Nadya *et al.* (2010) comentam sobre a hierarquia para o controle do ruído no ambiente de trabalho com aplicação do controle de engenharia, controle administrativo e a utilização de protetores auriculares. Para Haron *et al.* (2015), o uso do controle de engenharia para reduzir a geração de ruído na fonte é importante para minimizar a PAIR, já que o ruído ocupacional é uma causa significativa para perda de audição na idade adulta.

Para o equipamento utilizado na presente pesquisa, Jaafar *et al.* (2017) explicam que as roçadoras são máquinas que utilizam um motor a gasolina localizado nas costas do operador e fixado através de cintos. Dessa forma, os usuários ficam expostos e sujeitos aos danos ocasionados pelo excesso de ruído.

Assim como para a vibração, a Diretiva 2006/42/EC estabelece, também, que as máquinas devem ser produzidas de forma que os riscos decorrentes da emissão do ruído sejam reduzidos ao nível mais baixo.

#### 2.4.1. Medidores de ruído

De acordo com Everest e Pohlmann (2009), um dispositivo utilizado para mensurar o som é projetado para realizar leituras dos níveis de pressão sonora. Gerges (2000) comenta que não é correto o uso do termo decibelímetro, pois o termo significa medir na escala dB e qualquer grandeza física, não só ruído, pode ser medida nessa escala. O termo correto é Medidor de Pressão Sonora.

Bistafa (2011) explica que o nível de pressão sonora é uma grandeza que determina a sensação da intensidade do som. O cálculo do Nível de Pressão Sonora (NPS) pode ser visualizado na Equação 2.9 a seguir.

$$\text{NPS} = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (2.9)$$

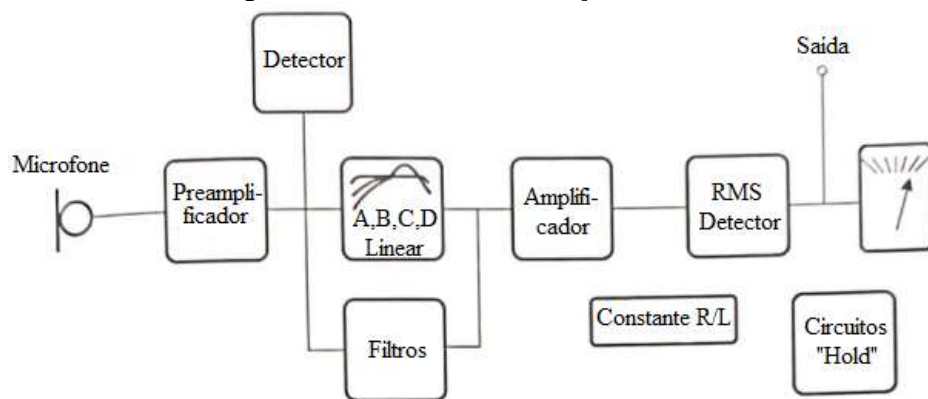
Sendo  $P$  a pressão do sistema e  $P_0$  a pressão de referência de  $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$  e corresponde ao limiar da audição em 1000 Hz.

Ainda segundo o mesmo autor, alguns componentes de condicionamento do sinal elétrico do medidor de pressão sonora podem ser visualizados a seguir:

- Microfone: tem como função converter a pressão sonora para um sinal elétrico equivalente;
- Pré-amplificador: amplifica o sinal que seja de baixa magnitude gerado pelo microfone;
- Filtro ponderador: tem como função ponderar o sinal para que simule a resposta do sistema auditivo às diferentes frequências;
- Filtros de 1/n oitava: é um filtro de sinal em bandas de frequência de 1/n oitava;
- Detector do valor eficaz (rms): extrai o valor eficaz da onda incidente no microfone;
- Ponderador temporal: a função é de estabelecer a rapidez com que o dispositivo deve responder às variações do sinal;
- Dispositivo indicador: possibilita a leitura da medição.

A Figura 2.13 mostra o desenho esquemático de um sistema para medição de ruído.

Figura 2.13 – Sistema de medição de ruído.



Fonte: adaptado de Gerges (2000).

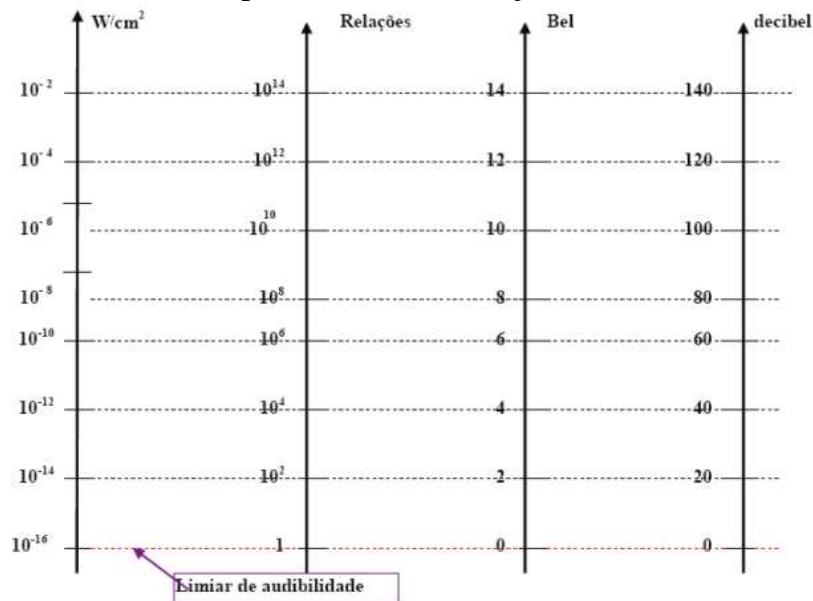
Alguns medidores de nível sonoro mais básicos não são equipados com filtros de análise de frequência e, com isso, fornecem apenas o nível sonoro total do som que incide no microfone. Porém, estes medidores são incorporados com filtros ponderadores que são utilizados para fornecer um nível sonoro melhor relacionado com o nível de audibilidade. O detector do medidor de nível de pressão sonora detecta o valor eficaz da pressão sonora, que fornece em escala logarítmica ao dispositivo, que por sua vez é graduado em decibel (BISTAFA, 2011).

Gimenes (2008) explica que o sistema auditivo humano pode ser sensibilizado por vibrações sonoras em uma intensidade cujos valores variam entre o limiar de audibilidade, de  $10^{-16}$  W/cm<sup>2</sup>, até o limiar da dor, de  $10^{-2}$  W/cm<sup>2</sup>, ou seja, o sistema auditivo humano tem a capacidade de perceber grande variação de intensidades, variando, entre os extremos, na ordem de trilhões de vezes. Ainda segundo o mesmo autor, para facilitar a utilização dos valores citados, adotou-se uma escala logarítmica para representar a unidade de medida da intensidade sonora.

Outros autores comentam e explicam, também, sobre a utilização da escala logarítmica. De acordo com Araújo (2008), o sistema auditivo humano possui capacidade de responder a largas faixas de intensidade sonora que são capazes de causar a sensação de audição. A intensidade sonora do limiar da dor é, aproximadamente,  $10^{14}$  vezes a intensidade sonora da sensação de audição. Dessa forma, a escala linear torna-se inadequada para representar essa grande faixa de intensidade sonora e, dessa forma, criou-se a escala decibel.

Pode-se visualizar a relação entre W/cm<sup>2</sup> e decibel na Figura 2.14.

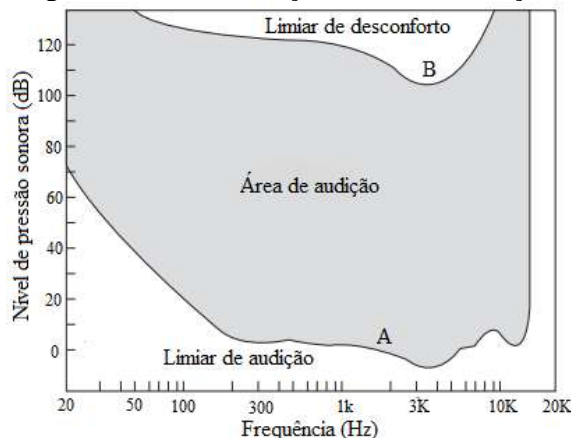
Figura 2.14 – Escala comparativa.



Fonte: adaptado de Fernandes (2010).

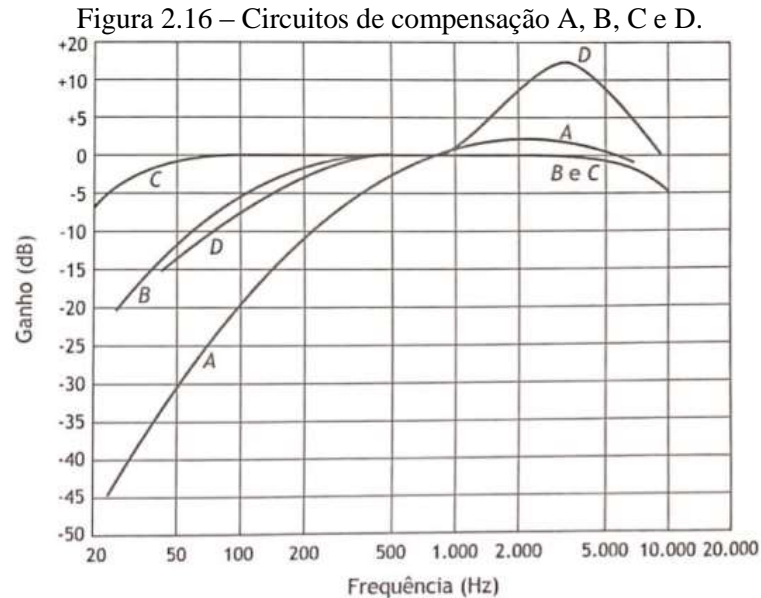
Para a sensibilidade da audição do ser humano para as diversas frequências, pode-se visualizar a Figura 2.15. A área de audição em que ocorrem as experiências auditivas do ser humano é delimitada pela curva A que representa o limiar da audição e pela curva B que representa o limiar do desconforto. O sistema auditivo é mais sensível em frequências em torno de 3 kHz, que é possível estimular a audição com menores níveis sonoros. Nota-se que abaixo dos 200 Hz é preciso níveis sonoros cada vez maiores para que audição seja estimulada e que para frequências abaixo dos 20 Hz e acima dos 20 kHz, aproximadamente, o sistema auditivo não é sensibilizado. Para o limiar do desconforto ou da dor, nota-se que essa sensação se dá a partir dos 120 dB para baixas e altas frequências e entre 100 e 120 dB para frequência que a sensibilidade auditiva é maior (BISTAFA, 2011).

Figura 2.15 – Delimitação da área de audição.



Fonte: Modificado de Everest e Pohlmann (2009).

A audição do ser humano não é linear para todas as faixas de frequências como já discutido anteriormente. Por essa razão, para simular a audição humana, os medidores de pressão sonora fornecem a possibilidade de uso de filtros de ponderação, designados como filtro A, B e C (EVEREST; POHLMANN, 2009).



Fonte: Bistafa (2011).

Bistafa (2011) comenta que o filtro A é o que mais se aproxima da resposta do sistema auditivo do ser humano e, além disso, é o mais recomendado para medições de ruído. O autor ainda cita algumas vantagens como: valores correlacionados com a perda de audição pelo ruído, é facilmente implementado nos medidores de nível de pressão sonora, apenas um único número como resultado da avaliação e é utilizado pela maioria das normas e legislações referentes a ruído. O filtro ponderador B aproxima a resposta para sons considerados “medianos” e é utilizado raramente e o filtro C aproxima a resposta para sons “elevados”, por possuir função de transferência praticamente plana e o nível sonoro para esse filtro é praticamente igual para uma medição sem a utilização de filtros ponderadores.

Ainda segundo Bistafa (2011), para o ruído, por tratar-se de uma onda irregular, torna-se necessária a redução das flutuações e a representação na forma de valor rms e, assim, permitir suas leituras. Para isso, os medidores de nível de pressão sonora possuem ponderador temporal, caracterizado pelas constantes de tempo de resposta: rápida/fast, lenta/slow e impacto.

### 2.4.2. Normas e legislação do ruído

Para o ruído, tem-se a Norma Regulamentadora 15 – Atividades e Operações Insalubres – que normatiza os limites de exposição, estipula a correta maneira de configurar o medidor de pressão sonora e como mensurar o ruído contínuo ou intermitente e de impacto.

A NR-15 (2014), Anexo 1, estipula os limites de exposição para o ruído contínuo ou intermitente como pode ser visualizado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.

Nível de Ruído [dB(A)]	Máxima Exposição Diária Permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: NR-15 (2014).

Segundo a NR-15 (2014) o nível de ruído contínuo ou intermitente deve ser medido em decibel (dB), com o medidor de pressão sonora operando no circuito de compensação “A” e resposta lenta. As leituras devem ser realizadas próximas ao ouvido do trabalhador e o tempo de exposição não deve exceder os limites de tolerância da Tabela 2.3.

Ainda segundo a NR-15 (2014), caso os valores encontrados de nível de ruído sejam intermediários, considera-se a máxima exposição diária permissível relativa ao nível imediatamente mais elevado. Não é permitido exposição ao ruído com níveis acima dos 115 dB(A) para indivíduos que não estejam devidamente protegidos, caso contrário oferecerão graves riscos à saúde. Se ocorrer exposição, durante a jornada de trabalho, de dois ou mais

períodos de exposição a ruído de diferentes níveis, deve considerar o efeito combinado, de forma que, se a soma da Equação 2.10 exceder a unidade, a exposição estará acima do limite de tolerância.

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \quad (2.10)$$

Sendo  $C_n$  o tempo total que o trabalhador fica exposto a um nível de ruído específico e  $T_n$  a máxima exposição diária permissível a este nível.

A NR-15 (2014), Anexo 2, estipula os limites de exposição, explica como interpretar e mensurar o ruído de impacto que é aquele que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a um segundo e intervalo superior a um segundo. O ruído de impacto deve ser avaliado em decibel (dB), com medidor de pressão sonora operando no circuito linear e circuito de resposta para impacto. As leituras devem ser próximas ao ouvido dos trabalhadores e o limite de tolerância é de 130 dB(linear). Para os intervalos entre os picos, o ruído deverá ser avaliado como ruído contínuo. Caso não disponha de medidor de pressão sonora com circuito de resposta para impacto, deverá ser realizada a leitura no circuito de resposta rápida e circuito de compensação “C”. Para este caso, o limite de tolerância é de 120 dB(C).

Ainda segundo a NR-15 (2014), as atividades que exponham os trabalhadores, sem a devida proteção, a níveis de ruído de impacto superiores a 140 dB(linear) no circuito de resposta para impacto, ou superiores a 130 dB(C) no circuito de resposta rápida (fast), oferecerão graves riscos.

### **2.5.Equipamento de proteção individual**

O uso de EPI (Equipamentos de Proteção Individual) é uma exigência das leis trabalhistas brasileiras por meio de Normas Regulamentadoras. Para evitar danos à saúde de trabalhadores e, mais especificamente, para operadores de roçadoras laterais motorizadas se faz necessária a utilização de EPI. Para normatizar a utilização, criou-se a Norma Regulamentadora 6 – Equipamento de Proteção Individual – EPI.

Segundo a NR-6 (2015), define EPI como sendo o dispositivo ou produto, de uso individual, concedido à proteção de riscos suscetíveis de ameaças à segurança e saúde do trabalhador nas atividades que o mesmo desempenha. Há, ainda, o Equipamento Conjugado de Proteção Individual, que é composto por vários dispositivos que o fabricante tenha associado

contra um ou mais riscos que possam ocorrer ao mesmo tempo e que ameace a segurança e saúde do trabalhador.

A NR-6 (2015), ainda, faz algumas importantes considerações, como pode ser visualizado a seguir:

- Tanto os EPI de fabricação nacional quanto internacional, apenas poderão ser postos à venda ou utilizados com identificação do Certificado de Aprovação – CA, expedido pelo órgão nacional competente do Ministério do Trabalho e Emprego;

- A empresa é obrigada a fornecer aos trabalhadores os EPI adequados ao risco que o empregado fique exposto, em perfeito estado de conservação e funcionamento;

- É de responsabilidade do empregador quanto ao EPI: adquirir o equipamento adequado ao risco de cada atividade; exigir seu uso; fornecer o EPI somente o aprovado pelo órgão nacional competente; orientar e treinar o trabalhador sobre o uso adequado, guarda e conservação; quando danificado ou extraviado, deve-se substituir imediatamente; responsabilizar-se pela higienização e manutenção; comunicar ao MTE qualquer irregularidade e registrar o seu fornecimento ao trabalhador.

- É de responsabilidade do trabalhador: usar apenas para a finalidade a que se destina; responsabilizar-se pela guarda e conservação; comunicar ao empregador qualquer alteração que torne o EPI impróprio para uso e cumprir as determinações do empregador quanto ao uso adequado.

A NR-6 (2015) define, ainda, os EPI para proteção de cada parte do corpo humano como pode ser visualizado a seguir.

- Proteção de cabeça: capacete, capuz ou balaclava;
- Proteção dos olhos e faces: óculos, protetor facial e máscara de solda;
- Proteção auditiva: protetor auditivo;
- Proteção respiratória: respirador purificador;
- Proteção de tronco: vestimentas e colete à prova de bala para vigilantes;
- Proteção dos membros superiores: luvas, creme protetor contra agentes químicos, manga, braçadeira e dedeira;
- Proteção dos membros inferiores: calçado, meia, perneira e calça;
- Proteção do corpo inteiro: macacão, vestimenta de corpo inteiro e vestimenta condutiva para proteção contra choques elétricos;
- Proteção contra quedas: cinto de segurança.



Pode-se visualizar os EPI utilizados pelos operadores de roçadora lateral motorizada na Figura 2.17 a seguir.

Figura 2.17 – Operador de roçadora com os devidos EPI.



Segundo Bastos (2005), há uma carência no mercado de protetores auriculares que tenham desenhos confortáveis e funcionais. O desgaste natural, devido à intensa utilização dos equipamentos, tem mostrado perda de qualidade. Mas a utilização de tais protetores é fundamental para os trabalhadores. Segundo Haron *et al.* (2015), a utilização dos protetores auriculares pode reduzir o risco dos trabalhadores de adquirirem a PAIR.

Há, basicamente, dois tipos de protetor auricular: tipo plugue e tipo concha. O tipo plugue é colocado no canal auditivo externo, produzindo efeitos quando bem encaixados. Já o tipo concha é colocado sobre as orelhas e são mais eficientes. Muitos trabalhadores acham esses protetores incômodos e, com isso, torna-se fundamental a conscientização sobre a importância e necessidade do uso (DUL; WEERDMEESTER, 2004).

Porém, no estudo realizado sobre conforto de protetores auriculares individuais, Sviech *et al.* (2013) concluíram que o protetor do tipo concha é considerado mais confortável e melhor aceito pela população estudada quando comparado ao protetor tipo plugue.

Segundo Haron *et al.* (2015) o protetor tipo plugue é descartável, barato e é mais confortável do que o tipo concha quando utilizado em local de alta umidade e temperatura. Já os protetores do tipo concha cobrem toda a orelha externa e proporcionam uma atenuação do nível de ruído mais previsível.

Para Bastos (2005), os protetores auriculares do tipo concha possuem vantagens e desvantagens:

- Vantagens: eliminação de ajustes complexos de colocação, por conta do tamanho podem ser vistos à distância permitindo providências para comunicação entre os trabalhadores e fiscalização, são ajustáveis, confortáveis em ambientes frios, maior vida útil e é possível a troca de peças, fácil remoção e são recomendados para áreas não-limpas.
- Desvantagens: a depender do modelo podem atrapalhar o uso de óculos e máscaras, desconfortáveis em ambientes quentes, geram desconforto devido ao peso e acarretam problema em espaços confinados.

Já para as luvas antivibração, Hewitt *et al.* (2016) concluíram em seu trabalho que há diversos fatores que interferem na eficácia de luvas antivibração, pode-se citar a direção e frequência da vibração, a força aplicada à luva, a diferença de transmissibilidade entre a palma e os dedos e as diferentes características físicas dos usuários. Os autores comentam, ainda, que as luvas reduzem componentes de vibração acima de 500 Hz, porém a ponderação de frequência atual restringe a eficácia das luvas devido ao grau de importância dada às frequências mais baixas. Griffin (1997) comenta que, por conta da ponderação de frequência, há pouca necessidade de medir vibrações acima de 1000 Hz e, dessa forma, há implicações na concepção e avaliação de dispositivos antivibração como, por exemplo, as luvas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Material

Para o presente trabalho utilizou-se quatro roçadoras laterais motorizadas novas de diferentes marcas, potências e todas com motores dois tempos. Cada roçadora foi denominada como máquina A, B, C e D. As características técnicas das máquinas podem ser visualizadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características técnicas das máquinas utilizadas na pesquisa.

Máquina	Combustível [L]	Cilindrada [cm <sup>3</sup> ]	Potência [hp]	Rotação do motor [rpm]	
				Baixa	Alta
A	0,74	33,6	1,62	2500	12000
B	1,10	40,2	1,97	2800	10000
C	0,58	35,2	2,28	2800	12500
D	0,91	32,6	1,20	2750	10000

Fonte: Fabricantes.

As roçadoras A, B, C e D podem ser visualizadas na Figura 3.1 a seguir.

Figura 3.1 – Roçadoras A, B, C e D.



As ferramentas de corte utilizadas nas roçadoras para os testes de vibração foram o nylon e a lâmina. As máquinas A, B e D utilizaram uma lâmina nova e a máquina C utilizou uma lâmina usada para os respectivos testes. As ferramentas de corte podem ser visualizadas na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Detalhe do nylon e das lâminas utilizadas nos testes.



Para análise da vibração no sistema mãos e braços, utilizou-se um acelerômetro de três eixos, modelo HVM-100 e fabricado pela Larson Davis. O aparelho realiza leituras triaxiais simultâneas e possibilita configurações independentes para cada eixo de acordo com o manual do usuário e bibliografias correlatas. Pode-se visualizar o sistema de aquisição na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Sistema de aquisição.



Juntamente com o acelerômetro HVM-100, utilizou-se o adaptador tipo Barra para análise da vibração. A ISO 5349 (2001) prevê a utilização de adaptadores para montagem dos acelerômetros junto às mãos ou empunhaduras das ferramentas. O adaptador utilizado pode ser visualizado na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Adaptador do tipo Barra utilizado na análise da vibração.



Para medição do ruído, utilizou-se o medidor de pressão sonora DEC-460, marca Instrutherm. O aparelho permite ponderação de frequência A e C e tempo de resposta Rápido e Lento. Além disso, o dispositivo detecta o valor máximo obtido durante a medição de ruído. O medidor de pressão sonora utilizado na pesquisa pode ser visualizado na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Medidor de pressão sonora DEC-460.



### 3.2.Métodos

Para avaliação da vibração no sistema mãos e braços, utilizou-se a norma internacional ISO 5349 (2001), partes 1 e 2, que estabelece critérios para avaliação da vibração em ferramentas manuais. Juntamente com a ISO 5349 (2001), utilizou-se a Diretiva Europeia 2002/44/EC que determina o Nível de Ação e Limite de Exposição à vibração nas mãos e braços. Para avaliação do ruído, utilizou-se a NR-15 (2014).

Os procedimentos desta pesquisa foram aprovados pelo comitê de Ética da Faculdade de Ciências da Unesp - câmpus de Bauru, processo número 31410214.8.0000.5398, parecer número 681.964 e um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido foi utilizado.

Para o presente trabalho, utilizou-se quatro roçadoras laterais motorizadas de marcas distintas e denominadas como máquina A, B, C e D. Avaliou-se a vibração e ruído nas seguintes condições de operação:

- Motor em baixa rotação e sem realizar o corte da vegetação;
- Motor em alta rotação e sem realizar o corte da vegetação;
- Motor em rotação de trabalho e realizando o corte da vegetação.

Utilizou-se dois tipos de ferramentas de corte nas roçadoras: nylon e lâmina. Como no teste em que a roçadora encontra-se com o motor em baixa rotação não há rotação da ferramenta de corte para as quatro máquinas avaliadas, independe, então, o tipo de ferramenta utilizada

para esse teste, já que a única fonte de vibração e ruído é o motor nesse tipo de operação. Para cada teste foram feitas três repetições.

Os testes foram divididos de acordo com a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Sequência de testes realizados.

Teste	Rotação			Ferramenta de corte	
	Baixa	Alta	Trabalho	Nylon	Lâmina
1	X				
2		X		X	
3			X	X	
4		X			X
5			X		X

O tempo de medição da vibração foi de 1 minuto de duração, esse tempo está de acordo com o que preconiza a ISO 5349 (2001), com isso o acelerômetro forneceu 60 amostras sendo uma amostra em rms a cada segundo. Assim, no final das avaliações, obteve-se um total de 180 amostras para cada teste realizado.

Utilizou-se um adaptador do tipo Barra para análise da vibração e realizou-se a montagem do acelerômetro junto ao adaptador e à mão de forma que os eixos obedecessem ao sistema de coordenadas proposto pela ISO 5349 (2001). A montagem e posição do acelerômetro podem ser visualizadas na Figura 3.6 a seguir.

Figura 3.6 – Detalhe da montagem do acelerômetro.



Durante o período de medição da vibração, realizou-se a leitura do nível de ruído, em dB(A). Aproximou-se o medidor de pressão sonora junto ao ouvido direito e esquerdo do operador, assim como preconiza a Norma Regulamentadora NR-15, e anotou-se o valor

máximo do ruído registrado pelo dispositivo. Para ambas as variáveis analisadas, vibração e ruído, realizaram-se três repetições para cada situação.

O acelerômetro, HVM-100, foi calibrado de acordo com o manual do fabricante e bibliografias correlatas. Configurou-se para operar no modo mãos e braços, curva de ponderação Wh, fator de multiplicação 1,0 para os eixos x, y e z, saída AC Ponderado, sem ganho e sensibilidade de acordo com a carta do fabricante. Já o medidor de pressão sonora foi configurado de acordo com o que preconiza a NR-15 (2014), ou seja, operação no circuito de compensação “A” e circuito de resposta lenta.

Após a realização dos testes de vibração, os resultados foram analisados no *Software* Blaze e, posteriormente, utilizou-se o *software* Microsoft Office Excel 2013 para análise estatística descritiva e geração de gráficos do tipo Box Plot e de linhas. Para o ruído, utilizou-se o *software* Microsoft Office Excel 2013 para geração de gráficos do tipo Barra.

Utilizou-se o gráfico Box Plot para analisar e avaliar a dispersão de amostras. O Box Plot é formado pelos quartis, delimitado pela caixa (box) que representa 50% das amostras observadas, e pela mediana. As linhas representam o Limite Inferior e Limite Superior e cada linha representam outros 25% das amostras. Os pontos que se encontram fora desses limites, são os chamados outliers e representam os pontos extremos ou discrepâncias (TAMHANE; DUNLOP, 2000; HOGG; LEDOLTER, 1992).

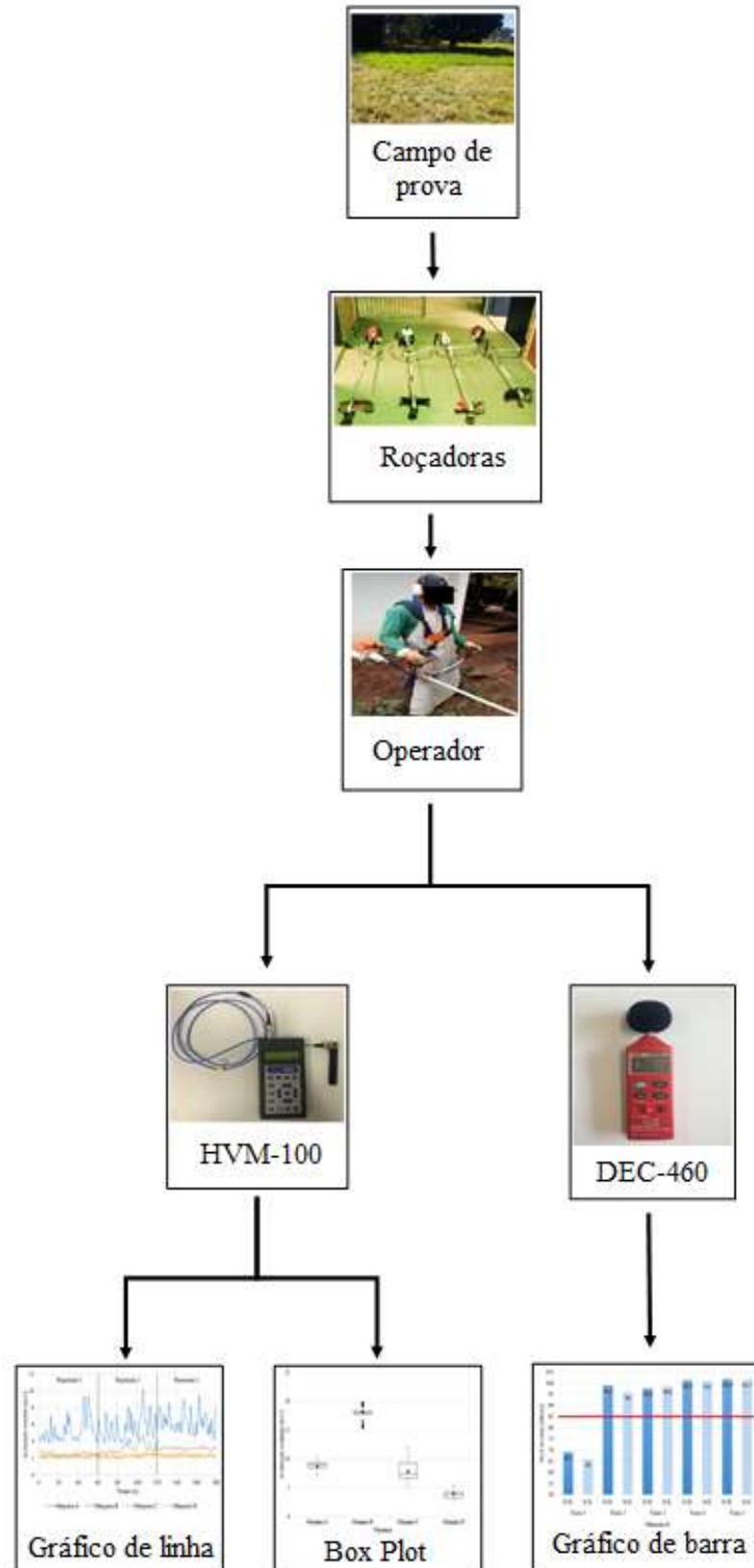
Os testes foram realizados no Laboratório de Máquinas Agrícolas e de Pesquisa com Bambu, pertencente ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP, câmpus de Bauru. O tamanho da vegetação foi pensado de forma que os testes coincidissem com o tempo exato do corte a ser realizado. Utilizou-se um único operador, o mesmo combustível e os testes decorreram em um único dia para evitar variações nos ensaios. No dia dos testes, a temperatura se encontrava em torno dos 25,8 °C e umidade em 50%. Pode-se visualizar o local onde foram realizados os ensaios pela Figura 3.7.

Figura 3.7 – Local onde se realizou os ensaios.



A Figura 3.8 mostra o diagrama esquemático da presente pesquisa.

Figura 3.8 – Diagrama esquemático da análise de vibração e ruído.





## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a vibração e ruído, analisou-se o comportamento das máquinas em três situações distintas e dois tipos de ferramenta de corte. Para efeito explicativo e informativo, gerou-se gráficos e tabelas para melhor compreensão dos resultados obtidos. Além disso, realizou-se análise dos resultados da vibração de acordo com a ISO 5349 (2001) e calculou-se o tempo de exposição à vibração conforme preconiza a Diretiva Europeia 2002/44/EC. Para o ruído, comparou-se os resultados obtidos com a NR-15 (2014).

### 4.1. Vibração

Para a vibração gerada pelas roçadoras laterais motorizadas, apresentou-se, primeiramente, os resultados gerais de cada máquina com seus respectivos testes e repetições. A seguir, analisou-se mais detalhadamente os testes realizados. Comparou-se as quatro máquinas entre si, justificando as vibrações obtidas com as respectivas características técnicas de cada máquina. Além disso, realizou-se uma análise comparativa entre cada teste, justificando os resultados obtidos de acordo com as situações analisadas e ferramentas utilizadas. Os resultados gerais de vibração podem ser visualizados na Tabela 4.1 com as respectivas repetições dos testes realizados com as quatro máquinas.

Tabela 4.1 – Resultados dos testes de vibração.

Máquina	Teste	Repetição 1 [m/s <sup>2</sup> ]	Repetição 2 [m/s <sup>2</sup> ]	Repetição 3 [m/s <sup>2</sup> ]	Média [m/s <sup>2</sup> ]
A	1	5,48	5,89	6,45	5,94
	2	9,32	9,25	7,89	8,82
	3	7,74	8,41	8,83	8,33
	4	5,10	4,67	5,04	4,94
	5	6,58	5,27	5,80	5,98
B	1	2,28	2,35	2,29	2,31
	2	18,80	17,90	17,90	18,20
	3	17,10	17,00	14,80	16,30
	4	14,60	11,80	10,20	12,20
	5	11,20	10,70	12,90	11,60
C	1	2,53	3,33	3,21	3,02
	2	9,91	6,30	7,41	7,87
	3	7,57	7,59	8,04	7,73
	4	37,60	49,20	40,40	42,40
	5	32,50	47,50	50,30	43,43
D	1	2,15	2,22	2,41	2,26
	2	3,35	4,76	3,90	4,00
	3	6,63	7,77	7,45	7,28
	4	10,40	9,88	7,69	9,32
	5	6,56	6,13	5,80	6,16

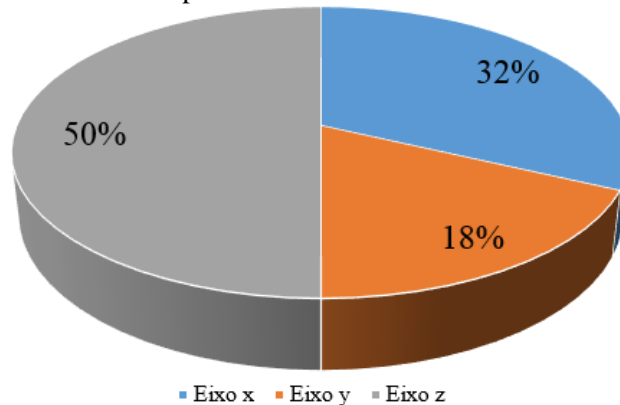
Nota-se, em um primeiro momento, altos valores de aceleração para alguns dos testes realizados. A seguir, analisou-se os resultados da vibração em cada eixo, x, y e z, e averiguou-se qual o eixo mais suscetível a ser dominante. Primeiramente, a Tabela 4.2 fornece a quantidade de vezes, por máquina, que cada eixo apresentou maior intensidade de vibração para cada teste e repetição.

Tabela 4.2 – Resultado da vibração por eixo de cada máquina.

Eixos	Máquinas				Total	Porcentagem [%]
	A	B	C	D		
x	10	4	2	3	19	32
y	1	0	8	2	11	18
z	4	11	5	10	30	50

De acordo com a Tabela 4.2, nota-se que o eixo z apresentou o maior número de vezes a vibração mais elevada, comparado aos outros eixos, em duas das quatro máquinas utilizadas na pesquisa (máquina B e D). Já o eixo x foi dominante em uma máquina (máquina A), assim como o eixo y (máquina C).

Figura 4.1 – Análise de predominância dos eixos nos testes de vibração.



Como é possível visualizar na Figura 4.1, o eixo que predominou com maior intensidade de vibração e que mais contribuiu para a aceleração resultante foi o eixo z que apresentou maior intensidade em 50% dos testes. O eixo que menos contribuiu para a aceleração resultante, ou seja, o que menos vezes apresentou maior intensidade foi o eixo y, com maior intensidade de vibração em 18% dos testes e repetições.

A seguir, realizou-se a análise comparativa entre máquinas para observar o efeito da potência do motor na vibração transmitida às mãos e braços dos operadores. Além disso, comparou-se as operações para observar e analisar o efeito que a baixa e alta rotação e durante a ceifa com a utilização de nylon e lâmina proporcionaram à transmissão da vibração.

#### 4.1.1. Comparativo entre máquinas

##### 4.1.1.1. Baixa rotação

Para um melhor entendimento das repetições e testes realizados em baixa rotação, tem-se a Figura 4.2 e a Tabela 4.3 que apresentam o comportamento de cada uma das máquinas utilizadas na pesquisa.

Figura 4.2 – Análise de dispersão das repetições para operação em baixa rotação.

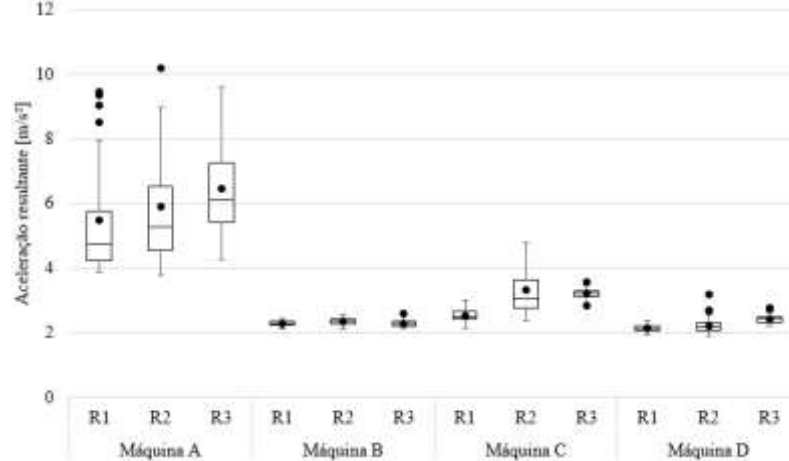


Tabela 4.3 – Análise estatística das repetições para operação em baixa rotação.

Máquina	Repetição	Aeq [m/s <sup>2</sup> ]	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
A	1	5,48	4,74	1,44	2,07	27,09%
	2	5,89	5,26	1,41	2,00	24,80%
	3	6,45	6,12	1,21	1,45	19,00%
B	1	2,28	2,28	0,08	0,01	3,43%
	2	2,35	2,34	0,10	0,01	4,43%
	3	2,29	2,28	0,10	0,01	4,21%
C	1	2,53	2,49	0,20	0,04	7,72%
	2	3,33	3,06	0,60	0,35	18,26%
	3	3,21	3,22	0,14	0,02	4,31%
D	1	2,15	2,15	0,11	0,01	5,00%
	2	2,22	2,18	0,23	0,05	10,33%
	3	2,41	2,41	0,13	0,02	5,18%

Percebe-se que as repetições para a máquina A apresentaram altos níveis de aceleração e maior variabilidade das amostras quando comparado às outras máquinas. A máquina B e D apresentaram comportamento semelhante para as repetições realizadas e a máquina C apresentou médias e variabilidade ligeiramente maior quando comparada com as máquinas B e D.

Posteriormente, juntou-se as amostras das repetições de cada máquina, plotou-se o gráfico da Figura 4.3 e realizou-se a análise estatística, além do tempo de exposição de acordo com a Diretiva Europeia 2002/44/EC conforme Tabela 4.4 a seguir.

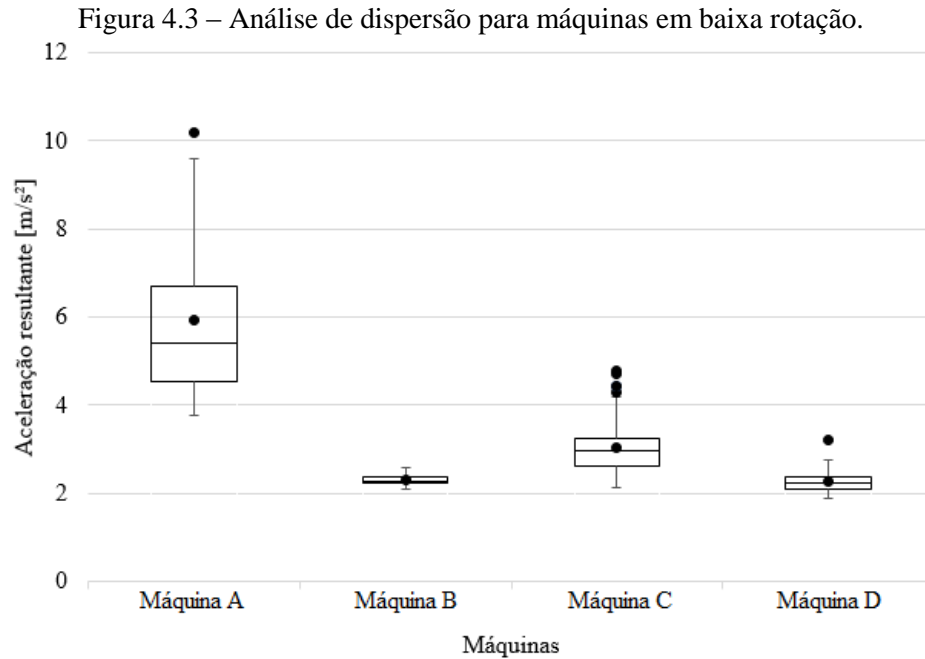


Tabela 4.4 – Análise estatística para operação em baixa rotação.

	Máquinas			
	A	B	C	D
<b>Aeq [m/s<sup>2</sup>]</b>	5,94	2,31	3,02	2,26
<b>Nível de Ação [horas]</b>	1,42	8,00	5,48	8,00
<b>Limite de Exposição [horas]</b>	5,66	8,00	8,00	8,00
<b>Mediana</b>	5,43	2,29	2,98	2,24
<b>Desvio Padrão</b>	1,42	0,10	0,49	0,20
<b>Variância</b>	2,00	0,01	0,24	0,04
<b>Coefficiente de Variação</b>	24,45%	4,19%	16,51%	8,72
<b>Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub></b>	4,55-6,71	2,24-2,38	2,61-3,24	2,11-2,38
<b>Limite Inferior/Limite Superior</b>	3,78-9,59	2,11-2,58	2,13-4,18	1,89-2,75
<b>Amplitude</b>	5,81	0,47	2,05	0,86

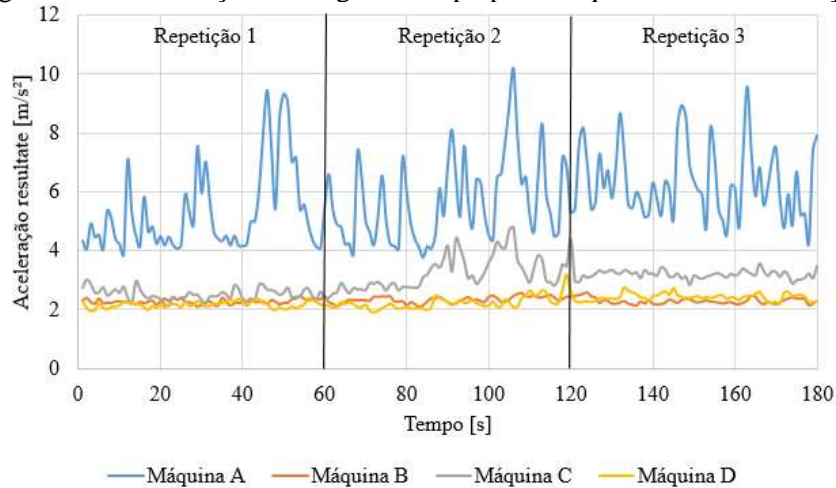
É possível visualizar que a máquina A apresentou maiores níveis de aceleração e de dispersão quando comparada com as outras máquinas. A máquina A apresentou média de 5,94 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras entre 3,78 a 9,59 m/s<sup>2</sup>. A máquina C apresentou a segunda maior média e dispersão, com nível médio de 3,02 m/s<sup>2</sup> e variação entre 2,13 a 4,18 m/s<sup>2</sup>. As máquinas B e D apresentaram médias próximas e as mais baixas dentre os quatro equipamentos analisados, com valores de 2,31 e 2,26 m/s<sup>2</sup> e com dispersão das amostras de 2,11 a 2,58 m/s<sup>2</sup> e 1,89 a 2,75 m/s<sup>2</sup>, respectivamente.

Ressalta-se, também, que as máquinas A, C e D apresentaram valores outliers, isso comprova que, apesar do motor encontrar-se em baixa e constante rotação, há picos irregulares de vibração, possivelmente por conta da variação do ciclo motor.

Para os valores de  $A_{eq}$  medidos nos testes, apenas a máquina B e D podem ser operadas com o trabalhador exposto à vibração durante 8 horas em uma jornada de trabalho. Enquanto a máquina A apresentou intensidade acima do permitido pela Diretiva e a máquina C apresentou intensidade entre o Nível de Ação e Limite de Exposição para uma exposição de 8 horas.

Para um melhor entendimento do comportamento da vibração ao longo do tempo, gerou-se o gráfico da Figura 4.4 a seguir.

Figura 4.4 – Aceleração ao longo do tempo para máquinas em baixa rotação.



Percebe-se que a máquina A apresentou maior oscilação ao longo do tempo e maior número de picos do que as outras três máquinas e, além disso, apresentou oscilações, na maior parte do tempo, entre 4,00 e 8,00 m/s<sup>2</sup>. Esse fato pode ser explicado pela peculiaridade de cada motor, por tratar-se de fabricantes diferentes, potências distintas e, também, por conta da máquina A apresentar a menor rotação quando em baixa rotação conforme características técnicas de cada equipamento. As máquinas B, C e D apresentaram oscilações, em média, entre 2,00 e 4,00 m/s<sup>2</sup>.

#### 4.1.1.2. Alta rotação com nylon

Para um melhor entendimento das repetições e testes realizados em alta rotação e com a utilização de nylon, tem-se a Figura 4.5 e Tabela 4.5 que apresentam o comportamento de cada uma das máquinas utilizadas na pesquisa.

Figura 4.5 – Análise de dispersão das repetições para operação em alta rotação com nylon.

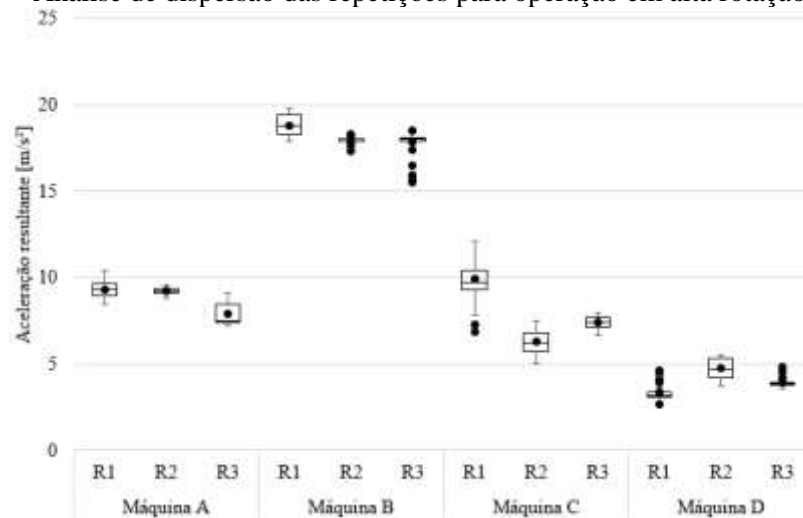


Tabela 4.5 – Análise estatística das repetições para operação em alta rotação com nylon.

Máquina	Repetição	Aeq [m/s <sup>2</sup> ]	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
A	1	9,32	9,29	0,48	0,23	5,13%
	2	9,25	9,27	0,18	0,03	1,92%
	3	7,89	7,51	0,64	0,41	8,08%
B	1	18,80	18,80	0,58	0,33	3,06%
	2	17,90	17,90	0,16	0,03	0,88%
	3	17,90	18,00	0,58	0,33	3,22%
C	1	9,91	9,76	0,99	0,98	10,11%
	2	6,30	6,22	0,68	0,47	10,90%
	3	7,41	7,41	0,33	0,11	4,48%
D	1	3,35	3,18	0,44	0,19	13,20%
	2	4,76	4,73	0,58	0,34	12,30%
	3	3,90	3,87	0,19	0,04	4,83%

Percebe-se que as repetições da máquina B apresentaram altos níveis de aceleração quando comparado às outras máquinas utilizadas na pesquisa. As máquinas A e C apresentaram médias próximas para as repetições realizadas, mas variação das repetições maior para a máquina C. Enquanto a máquina D apresentou médias menores e com baixa dispersão quando comparado às outras máquinas.

Posteriormente, juntou-se as amostras das repetições de cada máquina, plotou-se o gráfico da Figura 4.6 e realizou-se a análise estatística, além do tempo de exposição de acordo com a Diretiva Europeia 2002/44/EC conforme Tabela 4.6 a seguir.

Figura 4.6 – Análise de dispersão para máquinas em alta rotação com nylon.

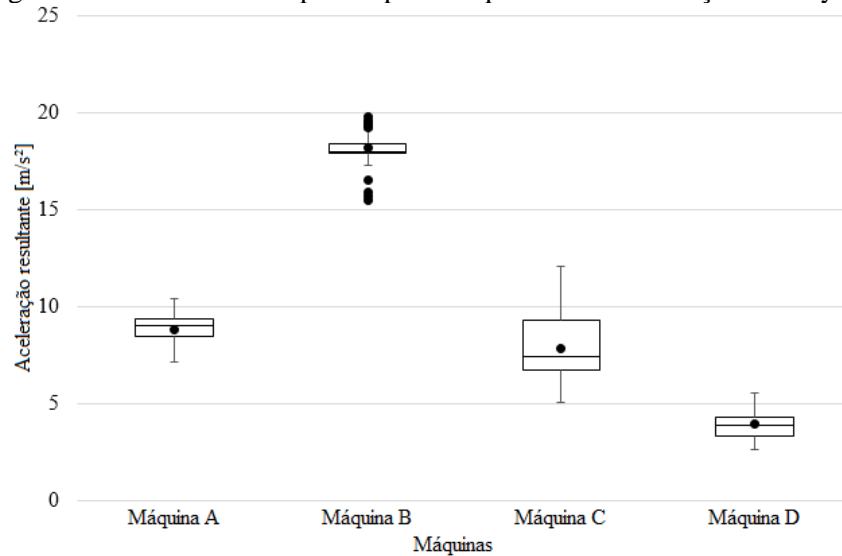


Tabela 4.6 – Análise estatística para operação em alta rotação com nylon.

	Máquinas			
	A	B	C	D
<b>Aeq [m/s<sup>2</sup>]</b>	8,82	18,20	7,87	4,00
<b>Nível de Ação [horas]</b>	0,64	0,15	0,81	3,13
<b>Limite de Exposição [horas]</b>	2,57	0,60	3,23	8,00
<b>Mediana</b>	9,07	18,00	7,43	3,91
<b>Desvio Padrão</b>	0,81	0,65	1,65	0,72
<b>Variância</b>	0,66	0,42	2,73	0,52
<b>Coefficiente de Variação</b>	9,18%	3,55%	21,11%	18,20%
<b>Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub></b>	8,46-9,35	17,90-18,40	6,73-9,30	3,45-4,29
<b>Limite Inferior/Limite Superior</b>	7,18-10,40	17,30-19,10	5,08-12,10	2,66-5,57
<b>Amplitude</b>	3,22	1,80	7,02	2,91

É possível visualizar que a máquina B apresentou maiores níveis de aceleração e menor dispersão quando comparado às outras máquinas. A máquina B apresentou média de 18,20 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras entre 17,30 a 19,10 m/s<sup>2</sup>. A máquina A apresentou a segunda maior média e dispersão, com valores de 8,82 m/s<sup>2</sup> e variação entre 7,18 a 10,40 m/s<sup>2</sup>, respectivamente. A máquina C apresentou a segunda menor média e a maior dispersão, com valores de 7,87 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras de 5,08 a 12,10 m/s<sup>2</sup>. Já a máquina D apresentou a menor média e a segunda menor dispersão das amostras, com valores de 4,00 m/s<sup>2</sup> e 2,66 a 5,57 m/s<sup>2</sup>.

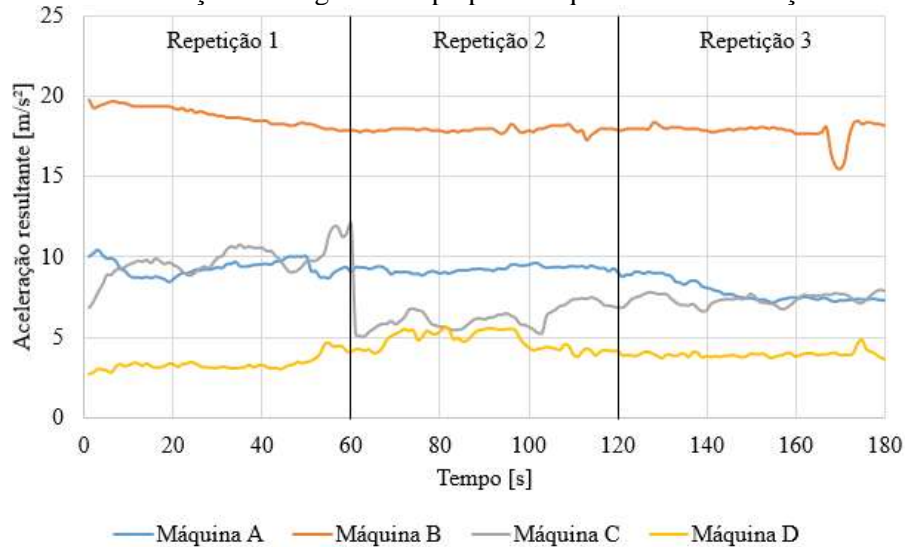
Ressalta-se que apenas a máquina B apresentou valores outliers, isso comprova que, apesar da baixa dispersão das amostras para esse equipamento, apresentou picos irregulares durante os testes, possivelmente por variação do ciclo motor durante a alta e constante rotação do motor, além de picos ocasionados pela alta rotação do nylon.

Para os valores de Aeq medidos nos testes, nenhuma máquina apresentou nível de vibração para que pudessem ser operadas durante as 8 horas de jornada de trabalho sem danos

à saúde do operador. A única máquina que apresentou nível de vibração entre o Nível de Ação e Limite de Exposição foi a máquina D.

Para um melhor entendimento do comportamento da vibração ao longo do tempo, gerou-se o gráfico da Figura 4.7.

Figura 4.7 – Aceleração ao longo do tempo para máquinas em alta rotação com nylon.



Percebe-se que a máquina C apresentou grande oscilação durante as repetições, ou seja, apresentou níveis variáveis no decorrer do tempo, principalmente entre a repetição 1 e 2 em que, por conta de possíveis variações de controle do operador, houve queda da aceleração mas o comportamento se manteve semelhante no decorrer do teste. As máquinas A, B e D apresentaram comportamento semelhante no decorrer do tempo e com poucos picos de vibração. Percebe-se, também, que a máquina B apresentou alto nível de vibração durante as repetições quando comparada com as outras três máquinas utilizadas na pesquisa.

#### 4.1.1.3. Rotação de trabalho com nylon

Para um melhor entendimento das repetições e testes realizados durante a ceifa da vegetação com a utilização de nylon, tem-se a Figura 4.8 e Tabela 4.7 que apresentam o comportamento de cada uma das máquinas utilizadas na pesquisa.



Figura 4.8 – Análise de dispersão das repetições para operação durante a ceifa da vegetação com nylon.

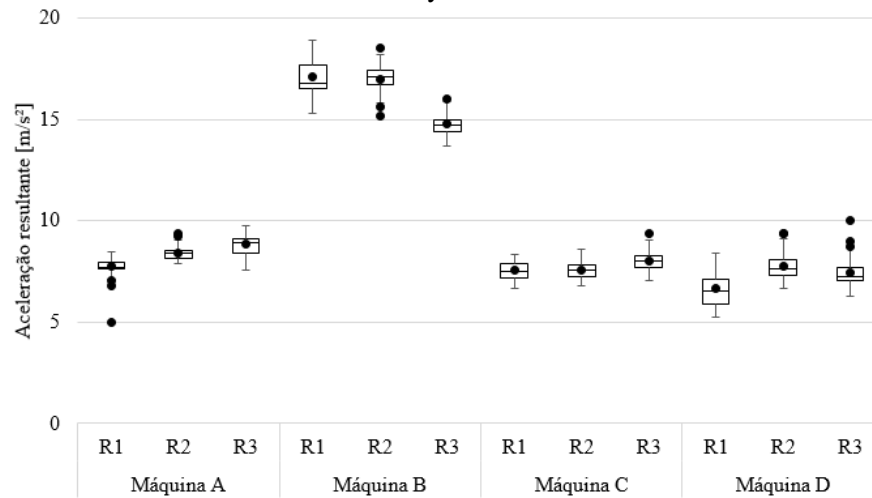


Tabela 4.7 – Análise estatística das repetições para operação durante a ceifa da vegetação com nylon.

Máquina	Repetição	Aeq [m/s <sup>2</sup> ]	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
A	1	7,74	7,71	0,47	0,22	6,09%
	2	8,41	8,38	0,31	0,10	3,70%
	3	8,83	8,91	0,50	0,25	5,72%
B	1	17,10	16,80	0,79	0,62	4,63%
	2	17,00	17,10	0,72	0,52	4,24%
	3	14,80	14,70	0,52	0,28	3,56%
C	1	7,57	7,50	0,44	0,19	5,79%
	2	7,59	7,55	0,43	0,18	5,67%
	3	8,04	8,00	0,45	0,21	5,65%
D	1	6,63	6,53	0,77	0,60	11,82%
	2	7,77	7,66	0,59	0,35	7,68%
	3	7,45	7,26	0,67	0,44	8,98%

Percebe-se que as repetições da máquina B apresentaram altos níveis de aceleração quando comparado às outras máquinas utilizadas na pesquisa. As máquinas A, C e D apresentaram médias próximas e baixa dispersão das repetições realizadas.

Posteriormente, juntou-se as amostras das repetições de cada máquina, plotou-se o gráfico da Figura 4.9 e realizou-se a análise estatística, além do tempo de exposição de acordo com a Diretiva Europeia 2002/44/EC conforme Tabela 4.8 a seguir.

Figura 4.9 – Análise de dispersão para máquinas durante a ceifa da vegetação com nylon.

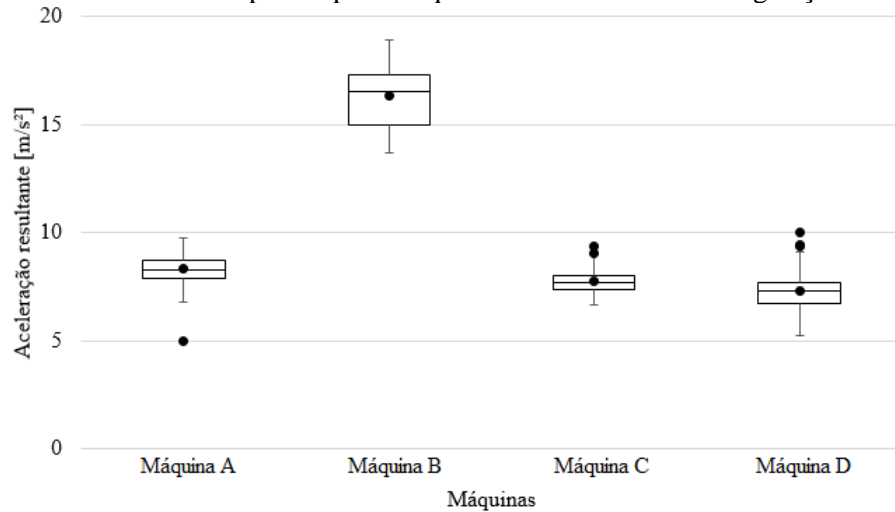


Tabela 4.8 – Análise estatística para operação durante a ceifa da vegetação com nylon.

	Máquinas			
	A	B	C	D
<b>Aeq [m/s<sup>2</sup>]</b>	8,33	16,30	7,73	7,28
<b>Nível de Ação [horas]</b>	0,72	0,19	0,84	0,94
<b>Limite de Exposição [horas]</b>	2,88	0,75	3,34	3,77
<b>Mediana</b>	8,29	16,50	7,68	7,28
<b>Desvio Padrão</b>	0,63	1,27	0,49	0,84
<b>Variância</b>	0,40	1,61	0,24	0,71
<b>Coefficiente de Variação</b>	7,60%	7,80%	6,38%	11,66%
<b>Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub></b>	7,89-8,70	15,00-17,30	7,35-8,03	6,70-7,71
<b>Limite Inferior/Limite Superior</b>	6,78-9,74	13,70-18,90	6,66-8,96	5,22-9,10
<b>Amplitude</b>	2,96	5,20	2,30	3,88

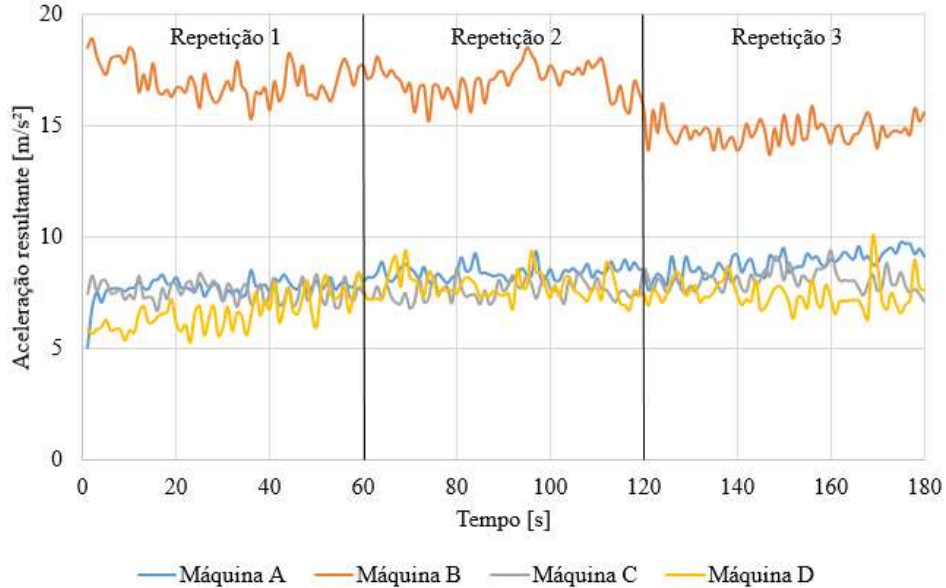
É possível visualizar que a máquina B apresentou maiores níveis de aceleração e dispersão quando comparado às outras máquinas. A máquina B apresentou média de 16,30 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras entre 13,70 a 18,90 m/s<sup>2</sup>. As máquinas A, C e D apresentaram médias e dispersão próximas, com valores médios de 8,33, 7,73 e 7,28 m/s<sup>2</sup> e dispersão variando de 6,78 a 9,74 m/s<sup>2</sup>, 6,66 a 8,96 m/s<sup>2</sup> e 5,22 a 9,10 m/s<sup>2</sup>, respectivamente.

Percebe-se que as máquinas A, C e D apresentaram valores outliers, isso comprova que, apesar da baixa dispersão das amostras para esses equipamentos durante a ceifa da vegetação, apresentaram-se picos irregulares, possivelmente pela variação ocasionada pela presença de galhos e pedregulhos no terreno que geram picos de vibração quando em contato com o nylon em alta rotação, além da passagem da roçadora por regiões onde já havia sido realizado o corte e variação da densidade da vegetação ceifada.

Para os valores de  $A_{eq}$  medidos nos testes, nenhuma máquina apresentou nível de vibração que pudessem ser operadas durante as 8 horas de jornada de trabalho sem danos à saúde.

Para um melhor entendimento do comportamento da vibração ao longo do tempo, gerou-se o gráfico da Figura 4.10.

Figura 4.10 – Aceleração ao longo do tempo para máquinas durante a ceifa da vegetação com nylon.



Percebe-se que para todos os testes, a vibração apresentou grande variação de picos durante o corte da vegetação, ou seja, os níveis de aceleração não apresentaram de forma constante no decorrer do tempo quando comparado ao teste em alta rotação com nylon. Esse fato era esperado já que, como mencionado anteriormente, durante a ceifa da vegetação há variação da densidade da vegetação ceifada e presença de objetos estranhos no terreno que, em contato com o nylon em alta rotação, geram altos valores e picos de vibração.

Percebe-se que as máquinas A, C e D apresentaram comportamento próximos no que diz respeito ao nível médio de vibração e variação ao longo do tempo.

#### 4.1.1.4. Alta rotação com lâmina

Para um melhor entendimento das repetições e testes realizados em alta rotação e com a utilização de lâmina, tem-se a Figura 4.11 e Tabela 4.9 que apresentam o comportamento de cada uma das máquinas utilizadas na pesquisa.

Figura 4.11 – Análise de dispersão das repetições para operação em alta rotação com lâmina.

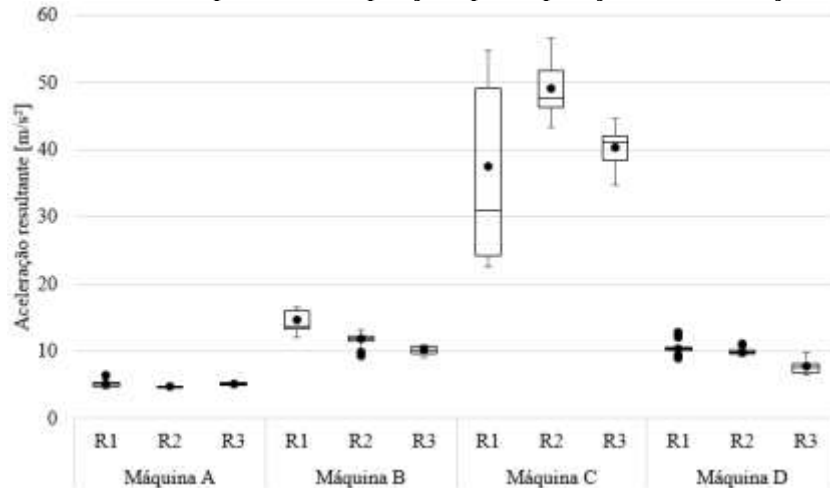


Tabela 4.9 – Análise estatística das repetições para operação em alta rotação com lâmina.

Máquina	Repetição	Aeq [m/s <sup>2</sup> ]	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
A	1	5,10	5,08	0,41	0,17	7,98%
	2	4,67	4,65	0,10	0,01	2,22%
	3	5,04	5,06	0,12	0,02	2,44%
B	1	14,60	13,65	1,53	2,33	10,51%
	2	11,80	11,90	0,96	0,91	8,08%
	3	10,20	10,20	0,62	0,38	6,05%
C	1	37,60	31,05	11,60	134,55	32,50%
	2	49,20	47,65	3,63	13,18	7,40%
	3	40,40	41,00	2,54	6,45	6,30%
D	1	10,40	10,20	0,77	0,59	7,37%
	2	9,88	9,75	0,40	0,16	4,01%
	3	7,69	7,49	0,90	0,80	11,71%

Percebe-se que as repetições da máquina C apresentaram altos níveis de aceleração e de dispersão, especialmente para a primeira repetição realizada, quando comparado às outras máquinas utilizadas na pesquisa. As máquinas B e D apresentaram, na maioria das repetições, médias próximas e com baixa dispersão das amostras. Enquanto a máquina A apresentou as menores médias dentre todas as repetições com os equipamentos utilizados.

Posteriormente, juntou-se as amostras das repetições de cada máquina, plotou-se o gráfico da Figura 4.12 e realizou-se a análise estatística, além do tempo de exposição de acordo com a Diretiva Europeia 2002/44/EC conforme Tabela 4.10 a seguir.

Figura 4.12 – Análise de dispersão para máquinas em alta rotação com lâmina.

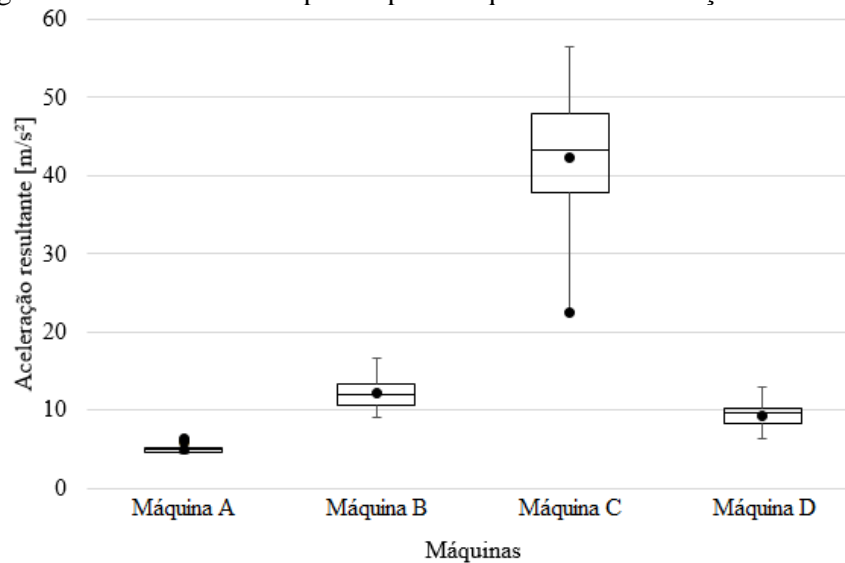


Tabela 4.10 – Análise estatística para operação em alta rotação com lâmina.

	Máquinas			
	A	B	C	D
<b>Aeq [m/s<sup>2</sup>]</b>	4,94	12,20	42,40	9,32
<b>Nível de Ação [horas]</b>	2,05	0,34	0,03	0,58
<b>Limite de Exposição [horas]</b>	8,00	1,34	0,11	2,30
<b>Mediana</b>	4,93	11,90	43,25	9,73
<b>Desvio Padrão</b>	0,31	2,10	9,03	1,39
<b>Variância</b>	0,10	4,42	81,57	1,93
<b>Coefficiente de Variação</b>	6,32%	17,26%	21,66	14,92%
<b>Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub></b>	4,67-5,12	10,70-13,30	37,88-48,00	8,21-10,20
<b>Limite Inferior/Limite Superior</b>	4,37-5,60	9,02-16,60	22,70-56,60	6,44-12,90
<b>Amplitude</b>	1,23	7,58	33,90	6,46

É possível visualizar que a máquina C apresentou altíssimos níveis de aceleração e de dispersão quando comparado às outras máquinas utilizadas na pesquisa. A máquina C apresentou média de 42,40 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras de 22,70 a 56,60 m/s<sup>2</sup>. Na sequência, a máquina B apresentou média de 12,20 m/s<sup>2</sup> e dispersão de 9,02 a 16,60 m/s<sup>2</sup> e a máquina D apresentou média de 9,32 m/s<sup>2</sup> e dispersão de 6,44 a 12,90 m/s<sup>2</sup>. Já a máquina A apresentou a menor média e dispersão das amostras dentre as máquinas utilizadas na pesquisa, com média de 4,94 m/s<sup>2</sup> e dispersão de 4,37 a 5,60 m/s<sup>2</sup>.

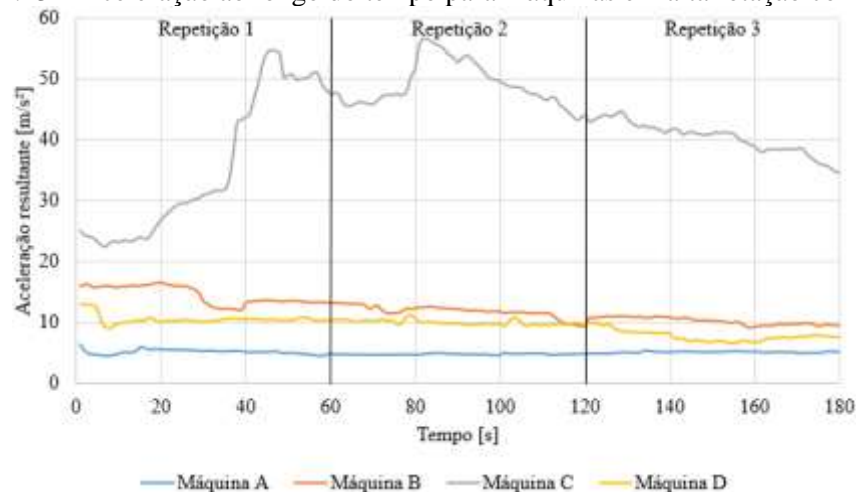
Ressalta-se que a máquina A e C apresentaram valores outliers. Isso comprova que, para a máquina A, mesmo com a baixa dispersão das amostras, podem ocorrer picos de vibração ocasionados pela variação do ciclo motor durante a alta e constante rotação do motor, além de picos ocasionados pela alta rotação da lâmina de corte. Já para a máquina C, a presença de outliers, além dos altos níveis de aceleração e dispersão, pode ser explicada pela variação do

ciclo motor e, principalmente, por utilizar uma lâmina usada e, possivelmente, desbalanceada o que ocasionou aumento da vibração.

Para os valores de  $A_{eq}$  medidos nos testes, nenhuma máquina apresentou nível de vibração para que pudessem ser operadas durante as 8 horas de jornada de trabalho sem danos à saúde do operador. A máquina A foi a única que apresentou nível de vibração entre o Nível de Ação e Limite de Exposição. As máquinas B, C e D apresentaram níveis muito acima do que preconiza a norma, especialmente a máquina C que apresentou valor de  $A_{eq}$  de  $42,40 \text{ m/s}^2$ .

Para um melhor entendimento do comportamento da vibração ao longo do tempo, gerou-se o gráfico da Figura 4.13.

Figura 4.13 – Aceleração ao longo do tempo para máquinas em alta rotação com lâmina.



Percebe que a máquina C além de apresentar alta variação, apresentou, também, alto nível de vibração no decorrer do tempo. Esse fato pode ser explicado, como mencionado anteriormente, pela utilização de lâmina usada e, possivelmente, desbalanceada.

A máquina A, B e D apresentaram comportamento semelhante e com pouca variação da aceleração ao longo do tempo, apesar dos diferentes níveis de vibração e valores de  $A_{eq}$ . A baixa variação e sem grandes picos de vibração ao longo do tempo, pode ser explicado pela rotação constante do motor e utilização de lâminas novas e balanceadas.

#### 4.1.1.5. Rotação de trabalho com lâmina

Para um melhor entendimento das repetições e testes realizados durante a ceifa da vegetação com a utilização de lâmina, tem-se a Figura 4.14 e Tabela 4.11 que apresentam o comportamento de cada uma das máquinas utilizadas na pesquisa.

Figura 4.14 – Análise de dispersão das repetições para operação durante a ceifa da vegetação com lâmina.

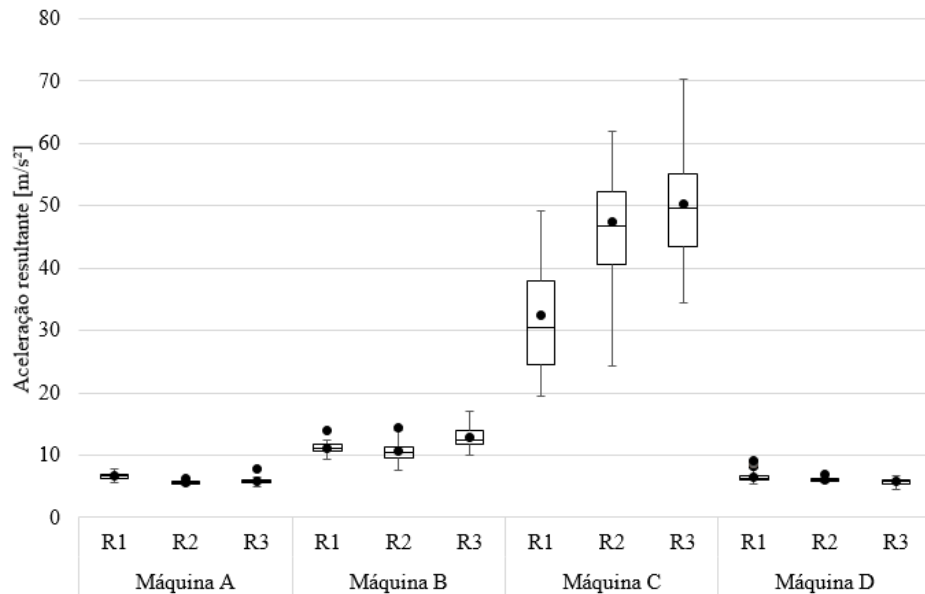


Tabela 4.11 – Análise estatística das repetições para operação durante a ceifa da vegetação com lâmina.

Máquina	Repetição	Aeq [m/s <sup>2</sup> ]	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
A	1	6,58	6,60	0,47	0,22	7,19%
	2	5,57	5,55	0,25	0,06	4,50%
	3	5,80	5,78	0,42	0,17	7,19%
B	1	11,20	11,10	0,80	0,63	7,11%
	2	10,70	10,45	1,59	2,52	14,97%
	3	12,90	12,45	1,63	2,66	12,73%
C	1	32,50	30,50	7,87	61,88	25,10%
	2	47,50	46,85	8,02	64,39	17,25%
	3	50,30	49,60	8,51	72,44	17,15%
D	1	6,56	6,23	0,90	0,81	13,85%
	2	6,13	6,12	0,32	0,10	5,25%
	3	5,80	5,83	0,53	0,28	9,11%

Percebe-se que as repetições da máquina C apresentaram altos níveis de aceleração e de dispersão quando comparado às outras máquinas utilizadas na pesquisa. A máquina B apresentou repetições com a segunda maiores médias e dispersão dentre as quatro máquinas. Já as máquinas A e D apresentaram baixa dispersão e médias próximas para as repetições realizadas.

Posteriormente, juntou-se as amostras das repetições de cada máquina, plotou-se o gráfico da Figura 4.15 e realizou-se a análise estatística, além do tempo de exposição de acordo com a Diretiva Europeia 2002/44/EC conforme Tabela 4.12 a seguir.

Figura 4.15 – Análise de dispersão para máquinas durante a ceifa da vegetação com lâmina.

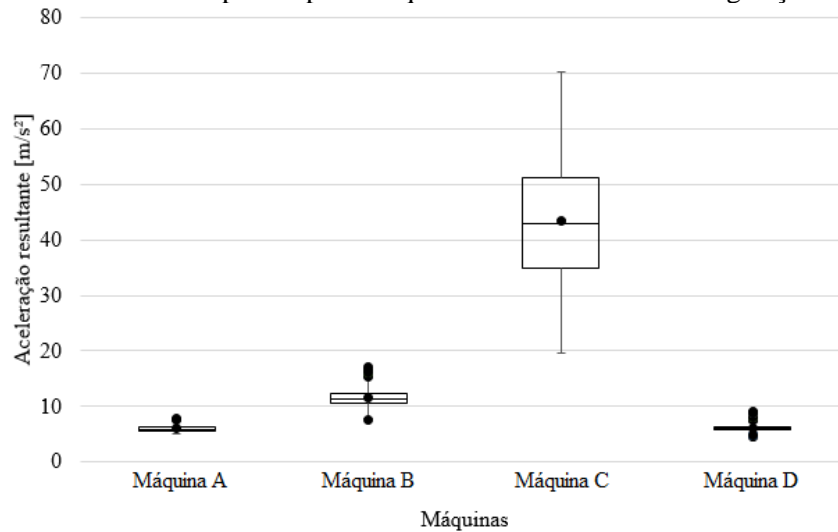


Tabela 4.12 – Análise estatística para operação durante a ceifa da vegetação com lâmina.

	Máquinas			
	A	B	C	D
<b>Aeq [m/s<sup>2</sup>]</b>	5,98	11,60	43,43	6,16
<b>Nível de Ação [horas]</b>	1,40	0,37	0,03	1,32
<b>Limite de Exposição [horas]</b>	5,59	1,49	0,11	5,27
<b>Mediana</b>	5,80	11,30	42,80	6,04
<b>Desvio Padrão</b>	0,58	1,67	11,39	0,70
<b>Variância</b>	0,34	2,79	129,61	0,49
<b>Coefficiente de Variação</b>	9,74%	4,48%	26,79%	11,36%
<b>Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub></b>	5,55-6,33	10,50-12,40	34,80-51,30	5,80-6,34
<b>Limite Inferior/Limite Superior</b>	4,99-7,34	7,78-15,20	19,50-70,30	5,01-7,05
<b>Amplitude</b>	2,35	7,42	50,80	2,04

Nota-se que a máquina C, assim como para o teste em alta rotação com lâmina, apresentou altíssimos níveis de aceleração e de dispersão quando comparado às outras máquinas utilizadas na pesquisa. Tal máquina apresentou média de 43,43 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras de 19,50 a 70,30 m/s<sup>2</sup>. Na sequência, nota-se que a máquina B apresentou média de 11,60 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras de 7,78 a 15,20 m/s<sup>2</sup>. Já a máquina A e D apresentaram níveis próximos de aceleração, com média de 5,98 e 6,16 m/s<sup>2</sup> e dispersão de 4,99 a 7,34 m/s<sup>2</sup> e 5,01 a 7,05 m/s<sup>2</sup>, respectivamente.

Nota-se que as máquinas A, B e D apresentaram outliers. Isso comprava que, mesmo com baixa dispersão desses equipamentos, as máquinas estão sujeitas a picos de vibração ocasionadas pela variação da densidade da vegetação ceifada, pela presença de galhos e pedregulhos no terreno que, em contato com a lâmina em alta rotação, geram picos de vibração e pela passagem por regiões onde já havia sido realizado o corte da vegetação.

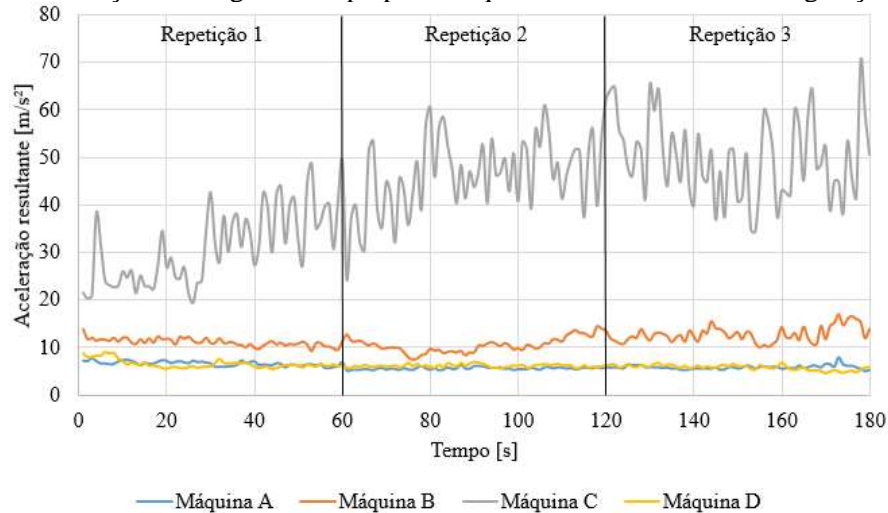


É importante ressaltar que os altos níveis de aceleração e de dispersão das amostras para a máquina C se deve, possivelmente, à utilização de lâmina usada para esse equipamento e que o provável desbalanceamento amplificou a vibração para esse teste.

Para os valores de  $A_{eq}$  medidos nos testes, nenhuma máquina apresentou nível de vibração para que pudessem ser operadas durante as 8 horas de jornada de trabalho sem danos à saúde do operador. Nenhuma máquina, também, apresentou níveis entre o Nível de Ação e Limite de Exposição proposto pela Diretiva 2002/44/EC.

Par um melhor entendimento do comportamento da vibração ao longo do tempo, gerou-se o gráfico da Figura 4.16.

Figura 4.16 – Aceleração ao longo do tempo para máquinas durante a ceifa da vegetação com lâmina.



Percebe-se a presença de mais picos de vibração para as máquinas utilizadas na pesquisa, principalmente para a máquina C, durante a ceifa da vegetação do que comparado aos testes em alta rotação com lâmina. Esse fato era esperado, já que durante o corte varia de forma significativa a vibração por conta de fatores já mencionados anteriormente, como presença de objetos estranhos, variação da densidade da vegetação ceifada e passagem por áreas que já se realizou o corte. Além disso, a utilização de lâmina usada e possivelmente desbalanceada para a máquina C ocasionou altos valores de vibração e dispersão para esse equipamento.

Nota-se, também, um comportamento semelhante da vibração ao longo do tempo para as máquinas A e D. Tais máquinas apresentaram níveis estáveis de vibração durante a ceifa da vegetação com lâmina.

## 4.1.2. Comparativo entre operações

### 4.1.2.1. Máquina A

Para melhor entendimento das operações realizadas com a máquina A, tem-se a Figura 4.17 e Tabela 4.13 a seguir que é possível visualizar um comparativo geral das repetições e testes realizados com esse equipamento.

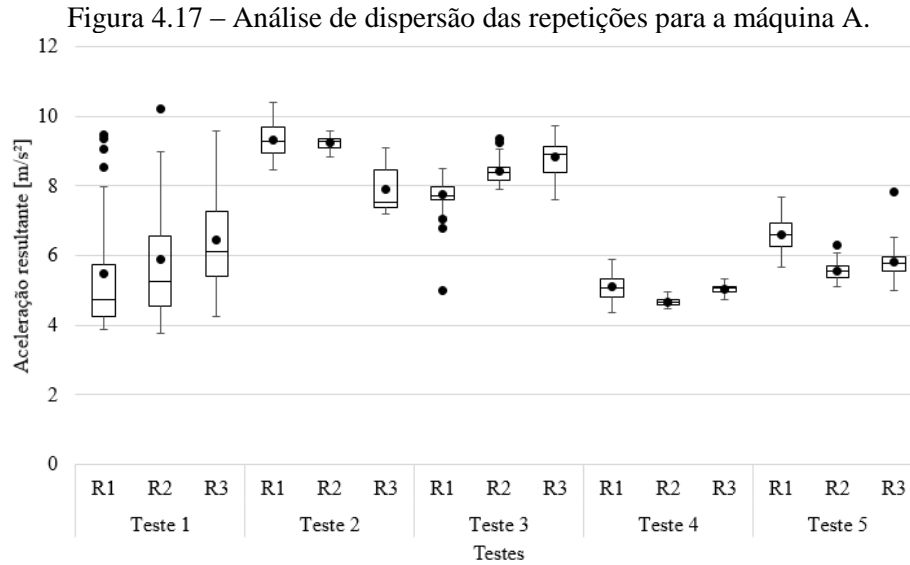


Tabela 4.13 – Análise estatística das repetições para a máquina A.

Teste	Repetição	Aeq [m/s <sup>2</sup> ]	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
1	1	5,48	4,74	1,44	2,07	27,09%
	2	5,89	5,26	1,41	2,00	24,80%
	3	6,45	6,12	1,21	1,45	19,00%
2	1	9,32	9,29	0,48	0,23	5,13%
	2	9,25	9,27	0,18	0,03	1,92%
	3	7,89	7,51	0,64	0,41	8,08%
3	1	7,74	7,71	0,47	0,22	6,09%
	2	8,41	8,38	0,31	0,10	3,70%
	3	8,83	8,91	0,50	0,25	5,72%
4	1	5,10	5,08	0,41	0,17	7,98%
	2	4,67	4,65	0,10	0,01	2,22%
	3	5,04	5,06	0,12	0,02	2,44%
5	1	6,58	6,60	0,47	0,22	7,19%
	2	5,57	5,55	0,25	0,06	4,50%
	3	5,80	5,78	0,42	0,17	7,19%

Percebe-se que o teste em baixa rotação apresentou as maiores dispersões das repetições em comparação com os outros testes realizados. Já os testes em alta rotação e durante a ceifa da vegetação com nylon apresentaram níveis médios próximos e, também, baixa dispersão das

repetições, assim como para a utilização de lâmina que apresentaram níveis médios menores do que em relação a utilização com nylon.

Posteriormente, juntou-se as amostras das repetições de cada teste realizado e plotou-se o gráfico da Figura 4.18, a seguir realizou-se a análise estatística e calculou-se o tempo de exposição de acordo com a Diretiva Europeia 2002/44/EC conforme Tabela 4.14 a seguir.

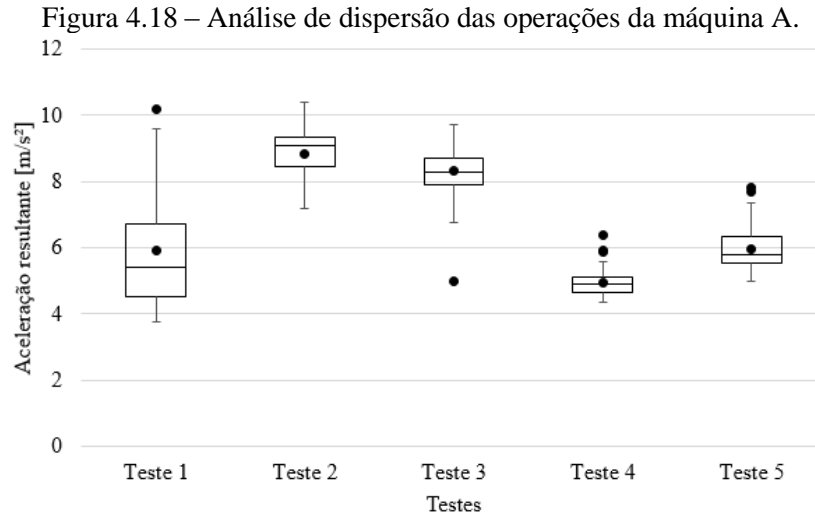


Tabela 4.14 – Análise estatística para máquina A.

	Testes				
	1	2	3	4	5
<b>Aeq [m/s<sup>2</sup>]</b>	5,94	8,82	8,33	4,94	5,98
<b>Nível de Ação [horas]</b>	1,42	0,64	0,72	2,05	1,40
<b>Limite de Exposição [horas]</b>	5,67	2,57	2,88	8,00	5,59
<b>Mediana</b>	5,43	9,07	8,29	4,93	5,80
<b>Desvio Padrão</b>	1,42	0,81	0,63	0,31	0,58
<b>Variância</b>	2,00	0,66	0,40	0,10	0,34
<b>Coefficiente de Variação</b>	24,45%	9,18%	7,60%	6,32%	9,74%
<b>Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub></b>	4,55-6,71	8,46-9,35	7,89-8,70	4,67-5,12	5,55-6,33
<b>Limite Inferior/Limite Superior</b>	3,78-9,59	7,18-10,40	6,78-9,74	4,37-5,60	4,99-7,34
<b>Amplitude</b>	5,81	3,22	2,96	1,23	2,35

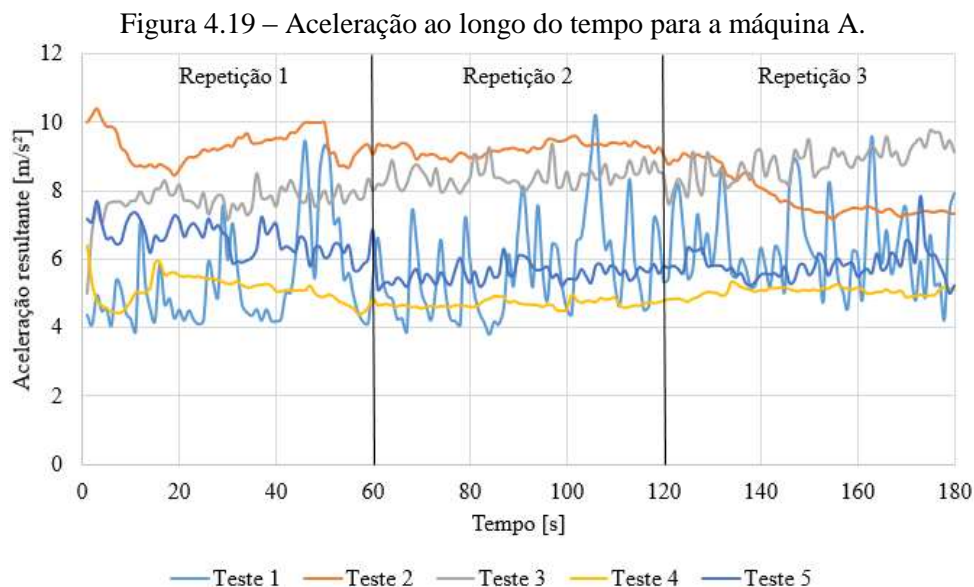
Nota-se que o teste em baixa rotação apresentou a segunda menor média dentre os testes realizados com a máquina A, porém apresentou a maior dispersão das amostras quando comparado aos outros testes. A média para esse teste foi de 5,94 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras de 3,78 a 9,59 m/s<sup>2</sup>. Os testes em alta rotação e durante a ceifa da vegetação com a utilização de nylon apresentaram médias próximas e com valores de 8,82 e 8,33 m/s<sup>2</sup>, respectivamente. A dispersão das amostras foi maior para o teste em alta rotação, com níveis de 7,18 a 10,40 m/s<sup>2</sup>, enquanto durante a ceifa da vegetação apresentou níveis de 6,78 a 9,74 m/s<sup>2</sup>. Já para os testes em alta rotação e durante a ceifa da vegetação utilizando lâmina, percebe-se níveis médios menores do que com a utilização de nylon. O teste em alta rotação apresentou média de 4,94

m/s<sup>2</sup> e dispersão de 4,37 a 5,60 m/s<sup>2</sup>, enquanto durante a realização da ceifa da vegetação apresentou média de 5,98 m/s<sup>2</sup> e dispersão de 4,99 a 7,34 m/s<sup>2</sup>.

Percebe-se a presença de outliers para o teste em baixa rotação, em alta rotação com lâmina e durante a ceifa da vegetação com as duas ferramentas de corte utilizadas. Supostamente o teste em baixa rotação pode ser justificado pela variação do ciclo motor da máquina A já que, durante esse teste, a única fonte de vibração é o próprio motor. O teste realizando a ceifa da vegetação se deve, possivelmente, a variação da vegetação ceifada, presença de objetos estranhos no terreno que, em contato com a ferramenta de corte em alta rotação, geram picos de vibração e pela passagem da máquina por regiões onde já havia ocorrido o corte. Enquanto o teste em alta rotação, possivelmente, se deve à variação do ciclo motor e à rotação da lâmina durante o teste.

Para os valores de Aeq medidos para a máquina A, nenhum teste apresentou nível de vibração para que pudessem ser operadas durante as 8 horas de jornada de trabalho sem danos à saúde do operador. Apenas o teste em alta rotação com a utilização de lâmina apresentou nível de vibração entre o Nível de Ação e o Limite de Exposição.

Para melhor entendimento do comportamento dos testes da máquina A ao longo do tempo, gerou-se o gráfico da Figura 4.19.



Percebe-se que a operação em baixa rotação apresentou grande variação no decorrer do tempo com inúmeros picos. Enquanto as outras operações apresentaram níveis mais estáveis no tempo de operação, especialmente o teste em alta rotação com a utilização de lâmina.

#### 4.1.2.2.Máquina B

Para melhor entendimento das operações realizadas com a máquina B, tem-se a Figura 4.20 e Tabela 4.15 a seguir que é possível visualizar um comparativo geral das repetições e testes realizados com esse equipamento.

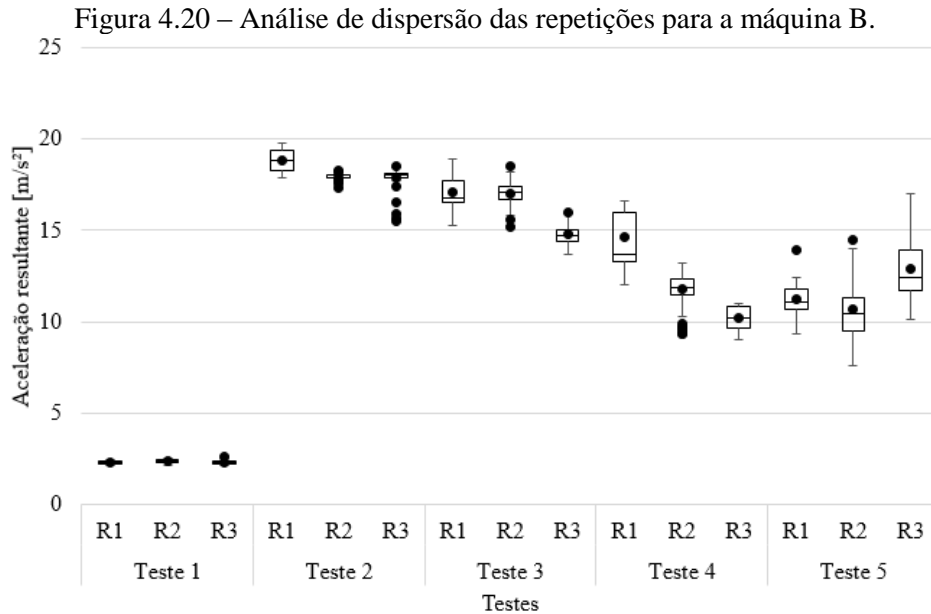


Tabela 4.15 – Análise estatística das repetições para a máquina B.

Teste	Repetição	Aeq [m/s <sup>2</sup> ]	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
1	1	2,28	2,28	0,08	0,01	3,43%
	2	2,35	2,34	0,10	0,01	4,43%
	3	2,29	2,28	0,10	0,01	4,21%
2	1	18,80	18,80	0,58	0,33	3,06%
	2	17,90	17,90	0,16	0,03	0,88%
	3	17,90	18,00	0,58	0,33	3,22%
3	1	17,10	16,80	0,79	0,62	4,63%
	2	17,00	17,10	0,72	0,52	4,24%
	3	14,80	14,70	0,52	0,28	3,56%
4	1	14,60	13,65	1,53	2,33	10,51%
	2	11,80	11,90	0,96	0,91	8,08%
	3	10,20	10,20	0,62	0,38	6,05%
5	1	11,20	11,10	0,80	0,63	7,11%
	2	10,70	10,45	1,59	2,52	14,97%
	3	12,90	12,45	1,63	2,66	12,73%

Percebe-se que o teste em baixa rotação apresentou baixos níveis de aceleração para as três repetições e, também, baixa dispersão das amostras. Os testes em alta rotação e durante a ceifa da vegetação com nylon apresentaram baixa dispersão de um modo geral. Já os testes com

a utilização de lâmina apresentaram maior dispersão das amostras e entre as repetições realizadas, mas obtiveram níveis de aceleração menores do que com a utilização de nylon.

Posteriormente, juntou-se as amostras das repetições de cada teste realizado e plotou-se o gráfico da Figura 4.21, a seguir realizou-se a análise estatística e calculou-se o tempo de exposição de acordo com a Diretiva Europeia 2002/44/EC conforme Tabela 4.16 a seguir.

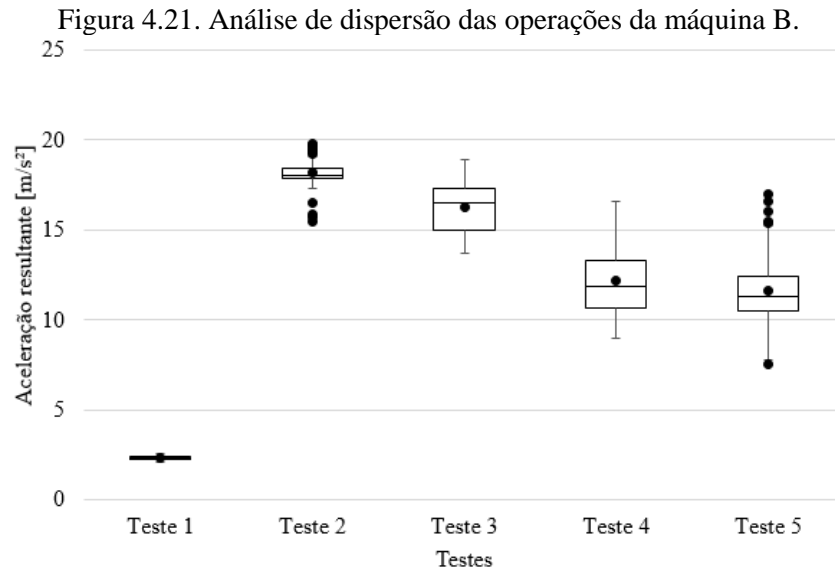


Tabela 4.16 – Análise estatística para máquina B.

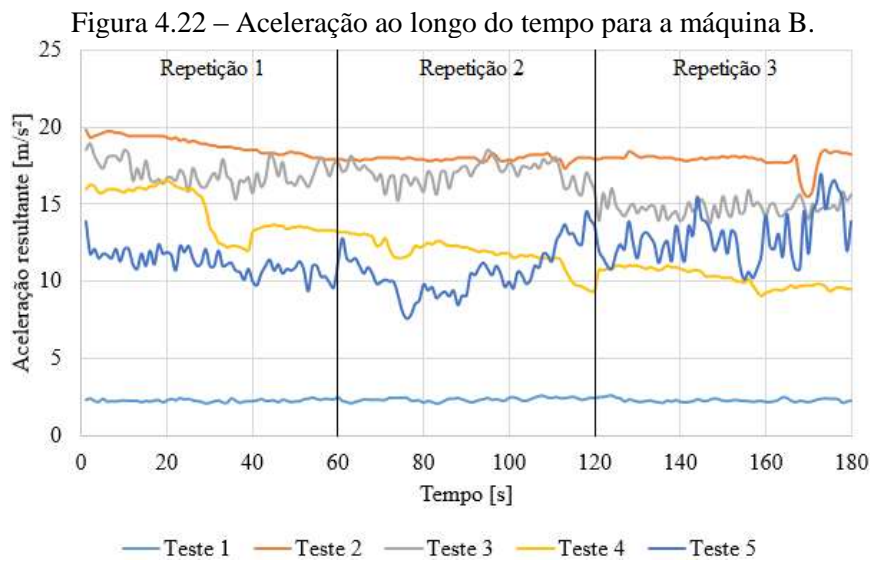
	Testes				
	1	2	3	4	5
<b>Aeq [m/s<sup>2</sup>]</b>	2,31	18,20	16,30	12,20	11,60
<b>Nível de Ação [horas]</b>	8,00	0,15	0,19	0,34	0,37
<b>Limite de Exposição [horas]</b>	8,00	0,60	0,75	1,34	1,49
<b>Mediana</b>	2,29	18,00	16,50	11,90	11,30
<b>Desvio Padrão</b>	0,10	0,65	1,27	2,10	1,67
<b>Variância</b>	0,01	0,42	1,61	4,42	2,79
<b>Coefficiente de Variação</b>	4,19%	3,55%	7,80%	17,26%	14,48%
<b>Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub></b>	2,24-2,38	17,90-18,40	15,00-17,30	10,70-13,30	10,50-12,40
<b>Limite Inferior/Limite Superior</b>	2,11-2,58	17,30-19,10	13,70-18,90	9,02-16,60	7,78-15,20
<b>Amplitude</b>	0,47	1,80	5,20	7,58	7,42

Nota-se que o teste em baixa rotação apresentou a menor média e dispersão dentre os testes realizados com a máquina B, com nível médio de 2,31 m/s<sup>2</sup> e variação de 2,11 a 2,58 m/s<sup>2</sup>. Os testes em alta rotação e durante a ceifa da vegetação com a utilização de nylon apresentaram níveis médios de 18,20 e 16,30 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras de 17,30 a 19,10 m/s<sup>2</sup> e 13,70 a 18,90 m/s<sup>2</sup>, respectivamente. Já os testes com a utilização de lâmina, apresentaram níveis médios menores do que com a utilização de nylon. Para alta rotação a média foi 12,20 m/s<sup>2</sup> e variação de 9,02 a 16,60 m/s<sup>2</sup> e durante a ceifa da vegetação, apresentou média de 11,60 m/s<sup>2</sup> e variação de 7,78 a 15,20 m/s<sup>2</sup>.

Percebe-se a presença de outliers para o teste em alta rotação com a utilização de nylon e durante a ceifa da vegetação com a utilização de lâmina. Apesar da baixa dispersão das amostras para o teste em alta rotação com nylon, apresentaram-se picos de vibração, possivelmente devido à variação do ciclo motor da máquina B e, também, à alta rotação do nylon. Já os picos observados durante a ceifa da vegetação com lâmina, se deve, possivelmente, a variação da vegetação ceifada, presença de objetos estranhos no terreno que, em contato com a lâmina em alta rotação, geram picos de vibração, além da passagem da máquina por regiões onde já havia ocorrido o corte.

Para os valores de  $A_{eq}$  medidos para a máquina B, apenas o teste em baixa rotação apresentou níveis de aceleração permitidos pela norma para que não seja prejudicial em uma jornada de trabalho de 8 horas. Todos os outros testes apresentaram níveis de aceleração muito acima do que preconiza a norma para que não haja prejuízo à saúde do operador.

Para um melhor entendimento do comportamento dos testes da máquina B ao longo do tempo, gerou-se o gráfico da Figura 4.22.



Percebe-se a grande diferença entre o teste em baixa rotação e os outros testes. A operação em baixa rotação apresentou grande estabilidade ao longo do tempo além de baixo nível de aceleração. Para os outros testes, alta rotação com nylon apresentou-se estável ao longo do tempo em comparação às outras operações que apresentaram grande variação e números de picos durante os testes.

### 4.1.2.3. Máquina C

Para melhor entendimento das operações realizadas com a máquina C, tem-se a Figura 4.23 e Tabela 4.17 a seguir que é possível visualizar um comparativo geral das repetições e testes realizados com esse equipamento.

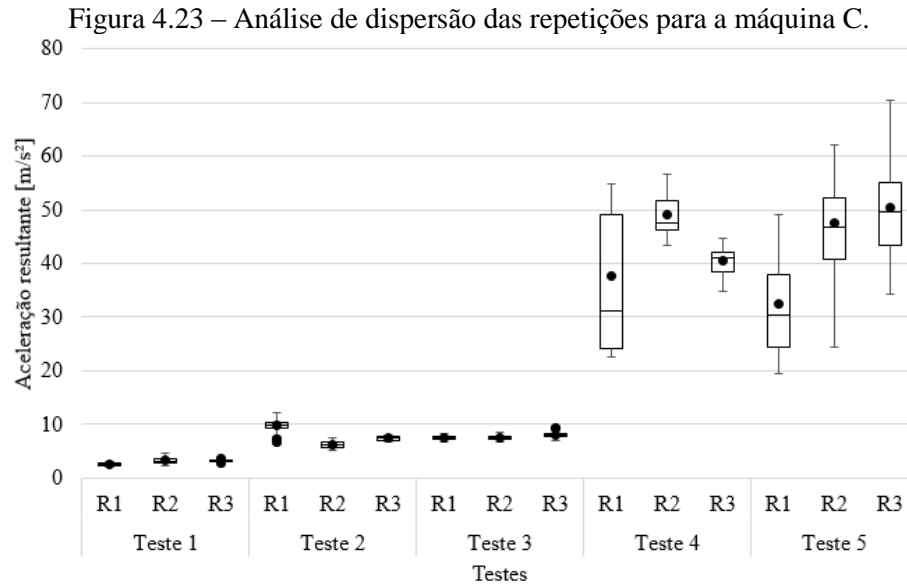


Tabela 4.17 – Análise estatística das repetições para a máquina C.

Teste	Repetição	Aeq [m/s <sup>2</sup> ]	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
1	1	2,53	2,49	0,20	0,04	7,72%
	2	3,33	3,06	0,60	0,35	18,26%
	3	3,21	3,22	0,14	0,02	4,31%
2	1	9,91	9,76	0,99	0,98	10,11%
	2	6,30	6,22	0,68	0,47	10,90%
	3	7,41	7,41	0,33	0,11	4,48%
3	1	7,57	7,50	0,44	0,19	5,79%
	2	7,59	7,55	0,43	0,18	5,67%
	3	8,04	8,00	0,45	0,21	5,65%
4	1	37,60	31,05	11,60	134,55	32,50%
	2	49,20	47,65	3,63	13,18	7,40%
	3	40,40	41,00	2,54	6,45	6,30%
5	1	32,50	30,50	7,87	61,88	25,10%
	2	47,50	46,85	8,02	64,39	17,25%
	3	50,30	49,60	8,51	72,44	17,15%

Percebe-se que os testes e repetições com a utilização de lâmina apresentaram altíssimos níveis de aceleração e de dispersão das amostras quando comparado com os outros testes realizados. Os testes com a utilização de nylon apresentaram níveis médios próximos e, também, baixa dispersão das repetições. Enquanto as repetições para o teste em baixa rotação



apresentaram os menores níveis de aceleração para a máquina C, assim como baixa variabilidade das amostras.

Posteriormente, juntou-se as amostras das repetições de cada teste realizado e plotou-se o gráfico da Figura 4.24, a seguir realizou-se a análise estatística e calculou-se o tempo de exposição de acordo com a Diretiva Europeia 2002/44/EC conforme Tabela 4.18 a seguir.

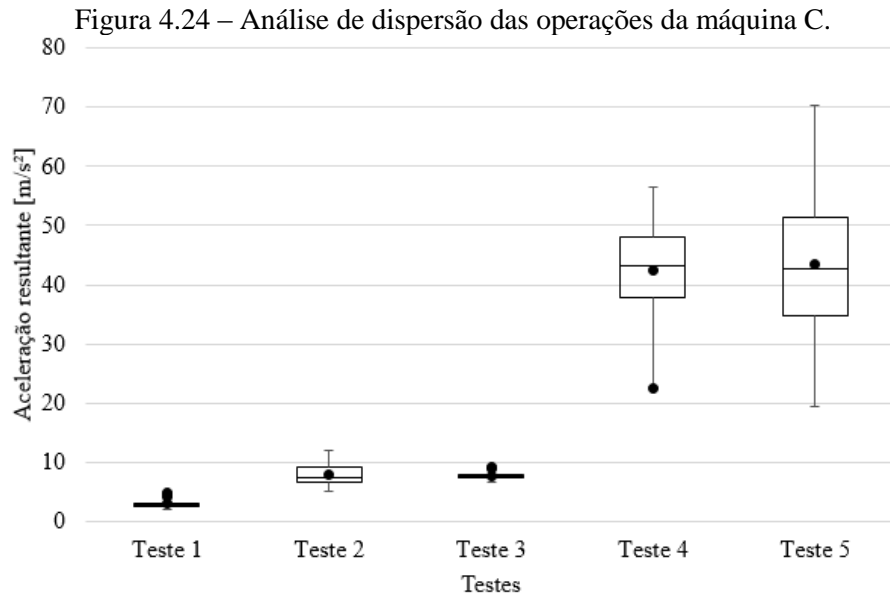


Tabela 4.18 – Análise estatística para máquina C.

	Testes				
	1	2	3	4	5
<b>Aeq [m/s<sup>2</sup>]</b>	3,02	7,87	7,73	42,40	43,43
<b>Nível de Ação [horas]</b>	5,48	0,81	0,84	0,03	0,03
<b>Limite de Exposição [horas]</b>	8,00	3,22	3,35	0,11	0,11
<b>Mediana</b>	2,98	7,43	7,68	43,25	42,80
<b>Desvio Padrão</b>	0,49	1,65	0,49	9,03	11,39
<b>Variância</b>	0,24	2,73	0,24	81,57	129,61
<b>Coefficiente de Variação</b>	16,51%	21,11%	6,38%	21,66%	26,79%
<b>Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub></b>	2,61-3,24	6,73-9,30	7,35-8,02	37,88-48,00	34,80-51,30
<b>Limite Inferior/Limite Superior</b>	2,13-4,18	5,08-12,10	6,66-8,96	22,70-56,60	19,50-70,30
<b>Amplitude</b>	2,05	7,02	2,30	33,90	50,80

Nota-se que o teste em baixa rotação apresentou a menor média e baixa variação das amostras, com média de 3,02 m/s<sup>2</sup> e variação de 2,13 a 4,18 m/s<sup>2</sup>. Os testes em alta rotação e durante a ceifa da vegetação com a utilização de lâmina apresentaram altos níveis de aceleração e de dispersão das amostras, com nível médio de 42,40 e 43,43 m/s e variação de 22,70 a 56,60 m/s<sup>2</sup> e 19,50 a 70,30 m/s, respectivamente. Já os testes com a utilização de nylon apresentaram níveis e dispersão bem abaixo do que com a utilização de lâmina, com média de 7,87 m/s<sup>2</sup> e

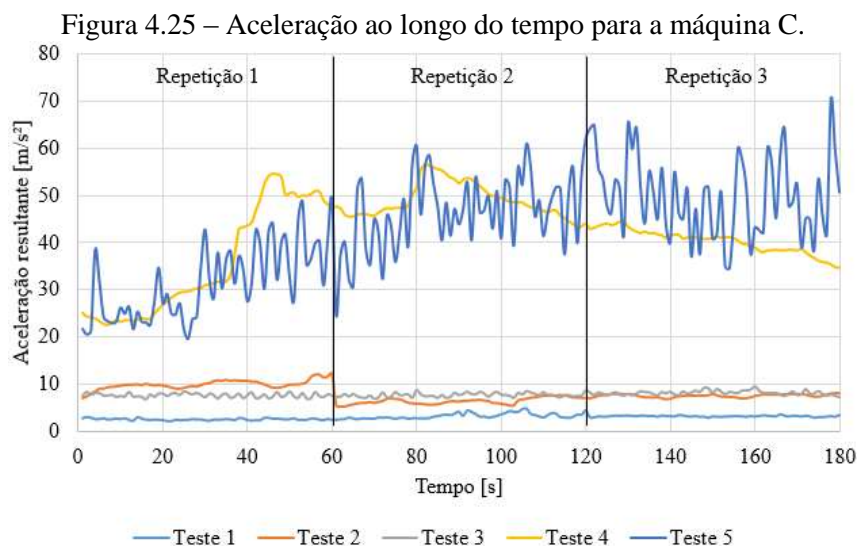
variação de 5,08 a 12,10  $m/s^2$  para alta rotação e média de 7,73  $m/s^2$  e variação de 6,66 a 8,96  $m/s^2$  para o teste durante a ceifa da vegetação.

Percebe-se a presença de outliers para os testes em baixa rotação e durante a ceifa da vegetação com a utilização de nylon e em alta rotação com a utilização de lâmina. Apesar da baixa dispersão das amostras em baixa rotação e durante a ceifa da vegetação com nylon, a presença de picos de vibração pode ser explicada pela variação do ciclo motor em baixa rotação e pela variação da vegetação ceifada, presença de objetos estranhos no terreno que, em contato com o nylon em alta rotação, geram picos de vibração e passagem da máquina por regiões onde já havia realizado o corte para o teste durante a ceifa da vegetação com nylon.

É importante ressaltar que, além da presença de outliers para o teste em alta rotação com lâmina, os altos níveis de aceleração e de dispersão das amostras para os testes com a utilização de lâmina quando comparado às outras operações, se deve, possivelmente, à utilização de lâmina usada e que o provável desbalanceamento amplificou a vibração para esses testes.

Para os valores de  $A_{eq}$  medidos para a máquina C, nenhum teste apresentou níveis de aceleração permitidos pela norma para a utilização da máquina durante as 8 horas diárias de jornada de trabalho. Apenas o teste em baixa rotação apresentou níveis de aceleração entre o Nível de Ação e Limite de Exposição.

Para um melhor entendimento do comportamento da máquina C ao longo do tempo, gerou-se o gráfico da Figura 4.25.



Percebe-se que os testes em baixa rotação, alta rotação e durante a ceifa com nylon apresentaram menores níveis de aceleração e baixa variação ao longo do tempo quando comparado aos testes com a utilização de lâmina, mas é perceptível a presença de pequenos

picos de vibração para o teste durante a ceifa da vegetação, além de que, durante o teste em alta rotação, houve uma pequena queda de vibração entre a repetição 1 e 2, possivelmente por conta de variações de controle do operador. Já para a operação em alta rotação e durante o corte da vegetação com lâmina, apresentou-se alta variação ao longo do tempo, além da presença de picos para o teste durante a ceifa da vegetação.

#### 4.1.2.4. Máquina D

Para melhor entendimento das operações realizadas com a máquina D, tem-se a Figura 4.26 e Tabela 4.19 a seguir que é possível visualizar um comparativo geral das repetições e testes realizados com esse equipamento.

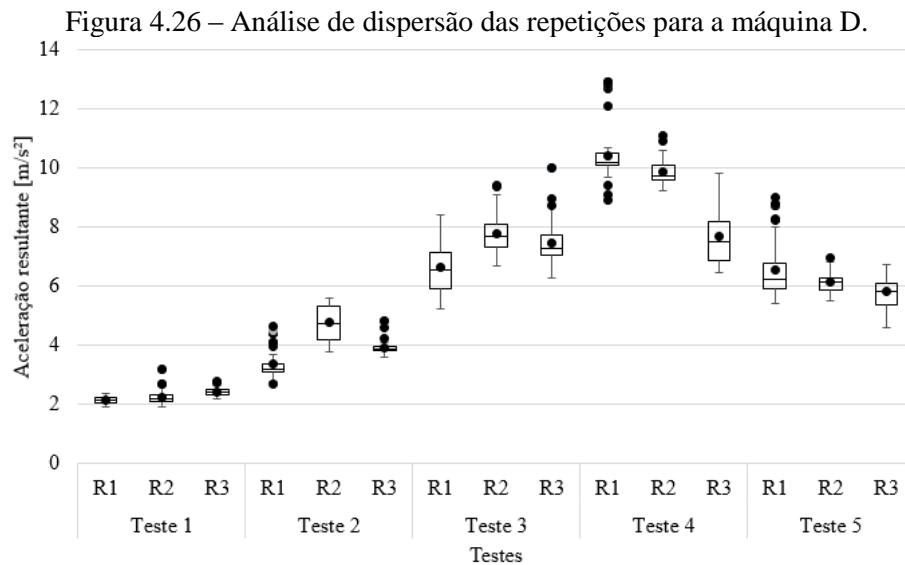


Tabela 4.19 – Análise estatística das repetições para a máquina D.

Teste	Repetição	Aeq [m/s <sup>2</sup> ]	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
1	1	2,15	2,15	0,11	0,01	5,00%
	2	2,22	2,18	0,23	0,05	10,33%
	3	2,41	2,41	0,13	0,02	5,18%
2	1	3,35	3,18	0,44	0,19	13,20%
	2	4,76	4,73	0,58	0,34	12,30%
	3	3,90	3,87	0,19	0,04	4,83%
3	1	6,63	6,53	0,77	0,60	11,82%
	2	7,77	7,66	0,59	0,35	7,68%
	3	7,45	7,26	0,67	0,44	8,98%
4	1	10,40	10,20	0,77	0,59	7,37%
	2	9,88	9,75	0,40	0,16	4,01%
	3	7,69	7,49	0,90	0,80	11,71%
5	1	6,56	6,23	0,90	0,81	13,85%
	2	6,13	6,12	0,32	0,10	5,25%
	3	5,80	5,83	0,53	0,28	9,11%

Percebe-se que as repetições para a máquina D apresentaram baixa dispersão das amostras, mas entre as repetições para o mesmo teste há variação, principalmente para o teste em alta rotação com nylon e lâmina. O teste em baixa rotação apresentou baixa dispersão das repetições, além dos menores níveis de aceleração quando comparado aos outros testes.

Posteriormente, juntou-se as amostras das repetições de cada máquina, plotou-se o gráfico da Figura 4.27 e realizou-se a análise estatística, além do tempo de exposição de acordo com a Diretiva Europeia 2002/44/EC conforme Tabela 4.20 a seguir.

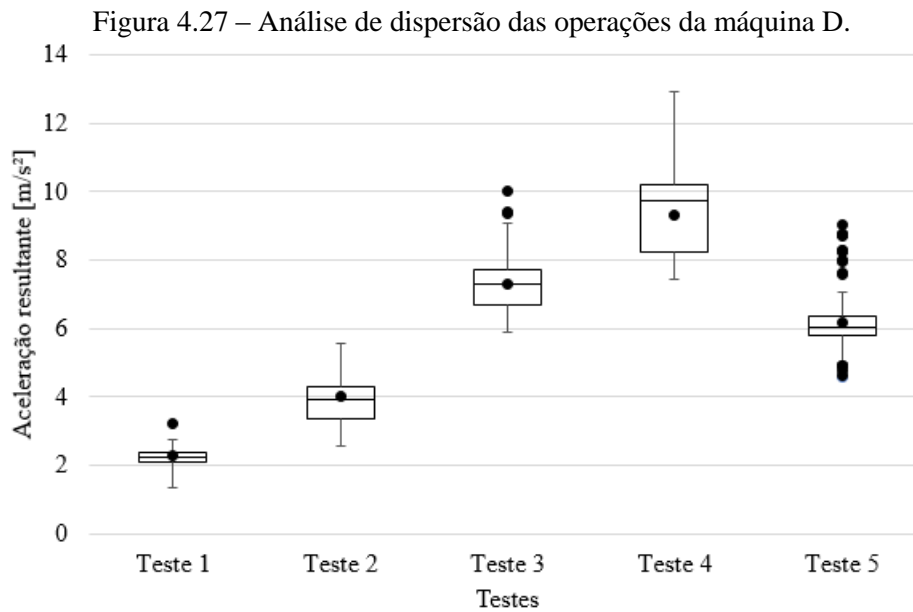


Tabela 4.20 – Análise estatística para máquina D.

	Testes				
	1	2	3	4	5
<b>Aeq [m/s<sup>2</sup>]</b>	2,26	4,00	7,28	9,32	6,16
<b>Nível de Ação [horas]</b>	8,00	3,13	0,94	0,58	1,32
<b>Limite de Exposição [horas]</b>	8,00	8,00	3,77	2,30	5,27
<b>Mediana</b>	2,24	3,91	7,28	9,73	6,04
<b>Desvio Padrão</b>	0,20	0,72	0,84	1,39	0,70
<b>Variância</b>	0,04	0,52	0,71	1,93	0,49
<b>Coefficiente de Variação</b>	8,72%	18,20%	11,66%	14,92%	11,36%
<b>Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub></b>	2,11-2,38	3,35-4,29	6,70-7,71	8,21-10,20	5,80-6,34
<b>Limite Inferior/Limite Superior</b>	1,89-2,75	2,66-5,57	5,22-9,10	6,44-12,90	5,01-7,05
<b>Amplitude</b>	0,86	2,91	3,88	6,46	2,04

Nota-se que o teste em baixa rotação apresentou a menor média e dispersão dentre os testes realizados com a máquina D, com nível médio de 2,26 m/s<sup>2</sup> e variação de 1,89 a 2,75 m/s<sup>2</sup>. Para os testes com nylon em alta rotação e durante a ceifa da vegetação, apresentou níveis médios de 4,00 e 7,28 m/s<sup>2</sup>, enquanto a variação das amostras foi de 2,66 a 5,57 m/s<sup>2</sup> e 5,22 a 9,10 m/s<sup>2</sup>, respectivamente. Já os testes com a utilização de lâmina apresentaram níveis de 9,32

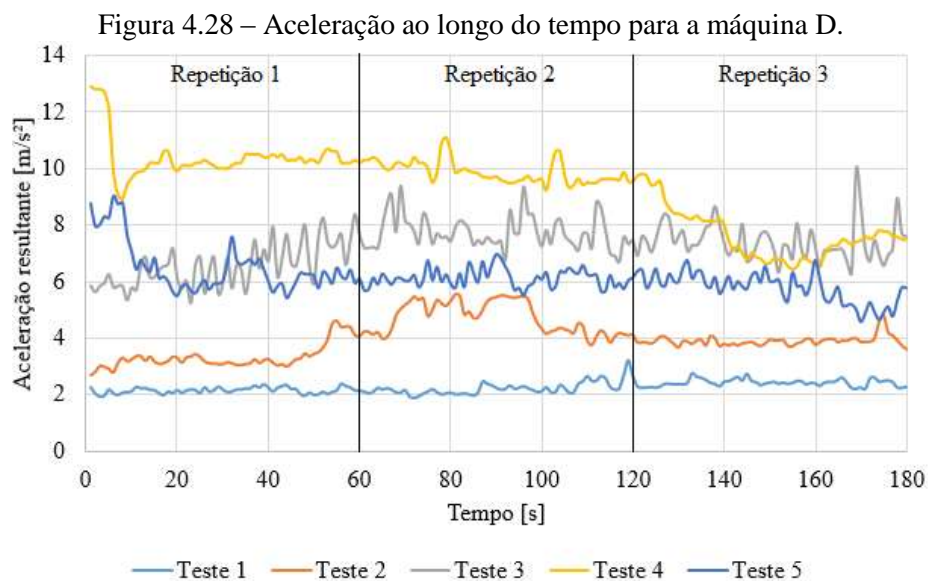
m/s<sup>2</sup> e variação de 6,44 a 12,90 m/s<sup>2</sup> para a operação em alta rotação, e nível médio de 6,16 m/s<sup>2</sup> e variação das amostras de 5,01 a 7,05 m/s<sup>2</sup> para o teste durante a ceifa da vegetação.

Diferentemente das outras máquinas utilizadas na pesquisa, esse equipamento não manteve um padrão em relação à ferramenta de corte mais prejudicial. Em alta rotação, a lâmina apresentou maiores níveis de aceleração, enquanto durante a ceifa da vegetação, o nylon apresentou níveis mais elevados.

Percebe-se a presença de outliers para o teste em baixa rotação e durante a ceifa da vegetação com as duas ferramentas de corte utilizadas. Supostamente o teste em baixa rotação pode ser justificado pela variação do ciclo motor da máquina D, já que durante esse teste, a única fonte de vibração é o próprio motor. O teste durante a ceifa da vegetação se deve, possivelmente, a variação da vegetação ceifada, presença de objetos estranhos no terreno que, em contato com as ferramentas de corte, geram picos de vibração e pela passagem da máquina por regiões onde já havia ocorrido o corte.

Para os valores de Aeq medidos para a máquina D, apenas o teste em baixa rotação apresentou níveis de aceleração permitidos pela norma para que não seja prejudicial em uma jornada de trabalho de 8 horas. A operação em alta rotação com nylon apresentou níveis entre o Nível de Ação e o Limite de Exposição proposto pela Diretiva Europeia 2002/44/EC. Os demais testes apresentaram níveis de aceleração acima do que preconiza a norma para que não haja prejuízo à saúde do operador.

Para um melhor entendimento do comportamento dos testes da máquina D ao longo do tempo, gerou-se o gráfico da Figura 4.28.



Percebe-se a diferença entre o teste em baixa rotação e os outros testes. A operação em baixa rotação apresentou grande estabilidade e baixo nível de aceleração e para as outras operações o nível de aceleração variou de forma significativa com a presença de picos no decorrer do tempo, principalmente para os testes durante a ceifa da vegetação.

#### 4.1.3. Considerações gerais

Com os dados apresentados nessa pesquisa, percebe-se que as máquinas apresentaram altos níveis de aceleração e que os operadores devem estar atentos ao limite de exposição à vibração para as mãos e braços. Porém, Hao, Ean e Ripin (2011) comentam que os operadores não estão plenamente cientes do nível e da insalubridade da vibração que atinge as mãos. Isso comprova que é fundamental a conscientização desses trabalhadores para que não haja prejuízo à saúde.

Para um comparativo entre os eixos x, y e z medidos durante os testes, tem-se que o eixo z apresentou maior intensidade em 50% dos testes e repetições, seguido do eixo x com maior intensidade em 32% dos testes e o eixo y em 18%. Esses resultados corroboram com a pesquisa realizada por Singh e Khan (2014), em que o eixo z apresentou maiores níveis de vibração, seguido do eixo x e y para análise da vibração em uma máquina de perfuração.

A direção z é considerada dominante em uma análise de vibração no sistema mãos e braços. Por essa razão, alguns autores realizaram um estudo específico para esse eixo (MARCOTTE *et al.*, 2005; DONG *et al.*, 2006).

Já em estudos com a utilização de motocultivador, Dewangan e Tewari (2009) chegaram a resultados em que o eixo x foi o que apresentou maior intensidade, ou seja, foi o eixo dominante, seguidos dos eixos z e y. Assim como a análise realizada por Chaturvedi, Kumar e Singh (2012) em que o eixo x foi dominante durante os testes com o mesmo tipo de equipamento.

Para um melhor entendimento, análise e comparativo das máquinas utilizadas na pesquisa, têm-se a Figura 4.29 e a Tabela 4.21 a seguir em que é possível visualizar um comparativo geral dos níveis de aceleração de cada máquina durante todas as operações realizadas. É possível concluir como cada máquina comportou-se durante os testes realizados em campo.

Figura 4.29 – Análise da dispersão das acelerações para as máquinas utilizadas na pesquisa.

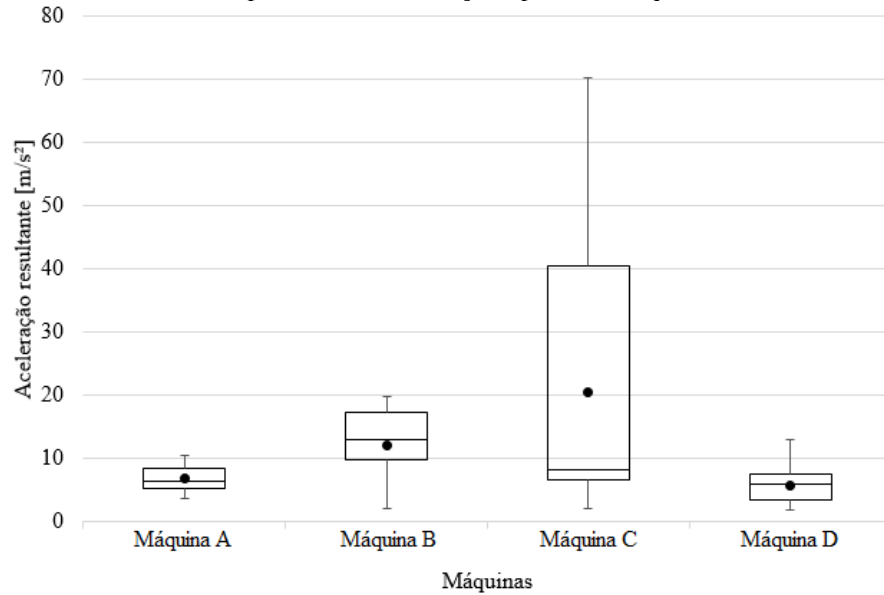


Tabela 4.21 – Comparativo geral de vibração entre máquinas.

	<b>Máquinas</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Aeq [m/s<sup>2</sup>]</b>	6,76	12,10	20,54	5,78
<b>Nível de Ação [horas]</b>	1,09	0,34	0,12	1,50
<b>Limite de Exposição [horas]</b>	4,38	1,37	0,47	5,99
<b>Mediana</b>	6,46	13,00	8,17	5,95
<b>Desvio Padrão</b>	1,68	6,14	20,20	2,76
<b>Variância</b>	2,82	37,75	408,16	7,63
<b>Coefficiente de Variação</b>	24,85%	50,74%	98,35%	47,75%
<b>Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub></b>	5,18-8,36	9,71-17,20	6,71-40,43	3,35-7,49
<b>Limite Inferior/Limite Superior</b>	3,78-10,40	2,11-19,80	2,13-70,30	1,89-12,90
<b>Amplitude</b>	6,62	17,69	68,17	11,01

Nota-se que as máquinas D e A foram as que apresentaram menores níveis de vibração e menores dispersões quando comparada às outras máquinas. A máquina D apresentou média de 5,78 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras entre 1,89 a 12,90 m/s<sup>2</sup>. A máquina A apresentou média de 6,76 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras entre 3,78 a 10,40 m/s<sup>2</sup>. Nota-se que a máquina D é a máquina com menor potência dentre os quatro equipamentos analisados, seguido da máquina A, com potência de 1,20 hp e 1,62 hp, respectivamente.

A máquina B apresentou a segunda média mais alta e também a segunda maior dispersão. A média da máquina B foi de 12,10 m/s<sup>2</sup> e dispersão das amostras de 2,11 a 19,80 m/s<sup>2</sup>. Nota-se, também, que a máquina B é o equipamento que apresenta a segunda maior potência dentre as máquinas analisadas.

Já a máquina C foi a que apresentou a maior média e maior dispersão das amostras analisadas. A média foi de 20,54 m/s<sup>2</sup> e a dispersão foi de 2,13 a 70,30 m/s<sup>2</sup>. Esses altos valores

apresentados pela máquina C possui como possível causa a utilização da lâmina usada e possivelmente desbalanceada durante os testes em alta rotação e realizando a ceifa da vegetação com essa ferramenta. Além disso, nota-se que máquina C possui a maior potência dentre as máquinas analisadas.

É possível notar, então, que as máquinas utilizadas na pesquisa com menor potência transmitiram menores níveis de vibração para o sistema mãos e braços do operador deste tipo de equipamento, ou seja, conforme se utilizou máquinas com maior potência, houve um aumento na transmissão da vibração. Nota-se, também, que máquinas com menores potências apresentaram menor variabilidade nos níveis de aceleração entre os testes realizados, isto é, foram menos suscetíveis a apresentarem grandes desvios dos níveis de vibração.

É importante, também, realizar um estudo da vibração para os diversos modelos e tipo de material utilizado nas empunhaduras de ferramentas mecânicas pois, segundo a ISO 5349 (2001), uma escolha errada de material pelos fabricantes pode amplificar a vibração em determinadas frequências. Além disso, na pesquisa realizada por Hao, Ean e Ripin (2011) sobre desenho e desenvolvimento de empunhaduras que reduzem a vibração no sistema mãos e braços, concluíram que nem todas as empunhaduras com suporte de borracha são eficazes para reduzir a vibração.

Para um melhor entendimento das operações realizadas na pesquisa, tem-se a Figura 4.30 e Tabela 4.22 a seguir em que é possível visualizar um comparativo geral dos níveis de aceleração.

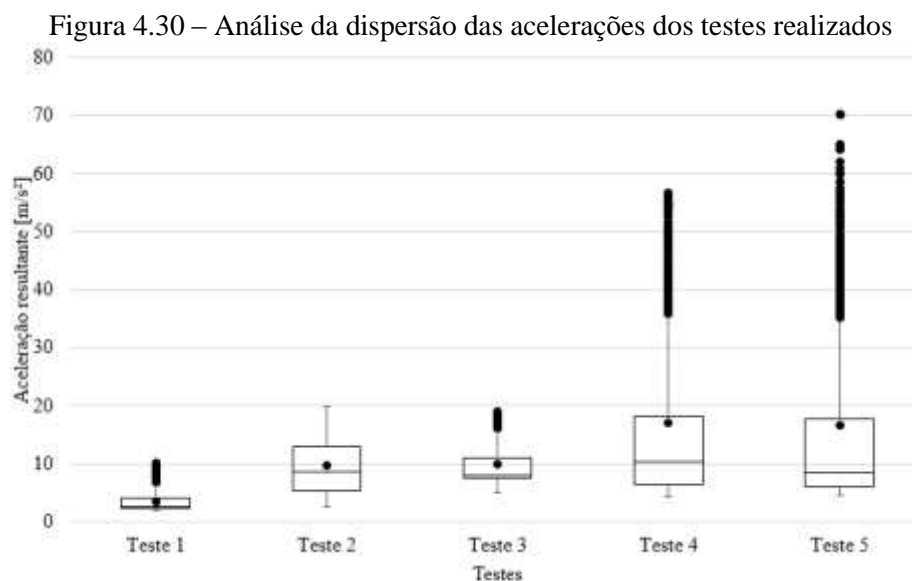




Tabela 4.22 – Comparativo geral de vibração entre operações.

	Testes				
	1	2	3	4	5
<b>Aeq [m/s<sup>2</sup>]</b>	3,34	9,71	9,87	17,03	16,54
<b>Nível de Ação [horas]</b>	4,48	0,53	0,51	0,17	0,18
<b>Limite de Exposição [horas]</b>	8,00	2,12	2,05	0,69	0,73
<b>Mediana</b>	2,48	8,73	8,07	10,03	8,48
<b>Desvio Padrão</b>	1,74	6,02	4,28	17,05	17,95
<b>Variância</b>	3,03	36,27	18,33	290,82	322,17
<b>Coefficiente de Variação</b>	52,10%	62,00%	43,36%	100,11%	108,53%
<b>Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub></b>	2,27-4,10	5,48-12,95	7,46-10,93	6,43-18,08	5,96-17,62
<b>Limite Inferior/Limite Superior</b>	1,89-6,84	2,66-19,80	4,99-16,10	4,37-35,40	4,58-34,80
<b>Amplitude</b>	4,95	17,14	11,11	31,03	30,22

Nota-se que o teste em baixa rotação apresentou a menor média e dispersão das amostras dentre todos os testes realizados. A média para esse teste foi de 3,34 m/s<sup>2</sup> e dispersão de 1,89 a 6,84 m/s<sup>2</sup> e esses baixos níveis de vibração, supostamente, são devido ao motor trabalhar em baixa rotação e, principalmente, por não haver rotação da ferramenta de corte, ou seja, a única fonte de vibração para esse teste foi o próprio motor da roçadora. A justificativa da presença de outliers na Figura 4.30 para o teste em baixa rotação, supostamente é explicado pelas diferentes variações do ciclo motor de cada um dos motores das máquinas utilizadas na pesquisa.

Os testes em alta rotação e durante a ceifa da vegetação com a utilização de nylon apresentaram médias próximas, com valores de 9,71 e 9,87 m/s<sup>2</sup>, respectivamente. Já a dispersão das amostras foi maior para o teste em alta rotação, 2,66 a 19,80 m/s<sup>2</sup>, do que o teste durante a ceifa da vegetação, 4,99 a 16,10 m/s<sup>2</sup>. Os valores de outliers presentes na Figura 4.30 para o teste durante a ceifa da vegetação com a utilização de nylon, supostamente podem ser explicados pela presença de objetos estranhos no meio da vegetação a ser ceifada, tais como pedras e galhos que, ao entrar em contato com o nylon em alta rotação, provocam picos de vibração.

Já para os testes com a utilização de lâmina, percebe-se os altos níveis de aceleração para o teste em alta rotação e durante a ceifa da vegetação, com níveis médios de 17,03 e 16,54 m/s<sup>2</sup>, respectivamente. A dispersão das amostras para o teste em alta rotação é de 4,37 a 35,40 m/s<sup>2</sup> e durante a ceifa da vegetação é de 4,58 a 34,80 m/s<sup>2</sup>. A presença de inúmeros outliers para os testes com lâmina, de acordo com a Figura 4.30, possivelmente é decorrente da lâmina utilizada para a máquina C que contribuiu para altos níveis de aceleração, por se tratar de uma ferramenta de corte usada e desbalanceada.

É possível constatar, então, que a operação que apresentou os menores níveis de aceleração foi para o teste com o motor em baixa rotação. Supostamente, esses baixos valores se devem ao fato de que, quando em baixa rotação, não há rotação da ferramenta de corte e,

dessa forma, não há amplificação da vibração na empunhadura da roçadora pelo sistema apresentar apenas uma única fonte de vibração que é o próprio motor.

Nota-se, também, que as lâminas podem gerar grande amplificação da vibração, esse fato pode ser explicado quando tal ferramenta apresenta-se desbalanceada e sem corte. Já a utilização de nylon pode gerar altos níveis de vibração por se tratar de um material irregular e quebradiço e, dessa forma, o sistema rotativo pode tornar-se desbalanceado. Gonçalves *et al.* (2014) comentam que as máquinas rotativas sofrem devido ao desbalanceamento e desalinhamento que acarretam altos níveis de vibração e, com isso, ocasionam inúmeros problemas e falhas mecânicas. Silva e Sales (2012) explicam em seu trabalho que massas desbalanceadas induzem forças em um sistema devido à energia cinética que surge quando o motor entra em operação. Ainda segundo os autores, a depender da rotação do motor, as forças tornam-se significativas e, dessa forma, amplificam a vibração no sistema.

Hao, Ean e Ripin (2011) explicam que as roçadoras possuem como fontes de vibração mais comuns a interação da máquina com o material a ser cortado, as forças geradas pelos motores de combustão interna e o desbalanceamento rotativo.

Assim como nas conclusões obtidas por Poletto Filho (2013), outro fator que possivelmente influencia no nível de vibração e na variabilidade dos resultados durante o corte é o tipo de vegetação a ser ceifada, já que se altera o tamanho, densidade e outros aspectos da vegetação.

A utilização de luva antivibração não pode ser confiada no que diz respeito à confiabilidade para proteção suficiente para que não ocorra prejuízo decorrente da vibração nas mãos e braços. Além disso, antes da utilização das luvas, todos os meios de controle de vibração devem ser tomados (HEWITT *et al.*, 2016).

## **4.2. Ruído**

Para análise e interpretação dos resultados do ruído, tem-se a Tabela 4.23 em que é possível visualizar o Nível de Pressão Sonora (NPS), medido em dB(A), de cada uma das repetições dos testes realizados com as quatro roçadoras laterais e, a seguir, calculou-se a média dos testes para o ouvido direito e esquerdo.

Tabela 4.23 – Resultados dos testes de ruído.

Teste	Máquina	Repetição	Sistema Auditivo			
			Ouvido Direito		Ouvido Esquerda	
			NPS [dB(A)]	Média [dB(A)]	NPS [dB(A)]	Média [dB(A)]
1	A	1	69,90	69,20	66,10	66,00
		2	68,80		65,80	
		3	68,80		66,20	
2	A	1	98,80	99,20	97,50	96,00
		2	99,60		96,30	
		3	99,10		94,10	
3	A	1	97,50	97,80	99,20	98,80
		2	97,90		98,10	
		3	98,00		99,10	
4	A	1	100,40	101,50	101,90	101,00
		2	101,50		101,00	
		3	102,50		100,20	
5	A	1	102,40	101,90	101,80	101,70
		2	101,70		101,40	
		3	101,60		101,90	
1	B	1	78,60	79,50	74,00	73,90
		2	81,10		73,60	
		3	78,70		74,10	
2	B	1	100,80	101,00	101,10	101,30
		2	99,40		101,20	
		3	102,70		101,70	
3	B	1	101,40	102,00	101,80	101,80
		2	102,70		101,60	
		3	102,00		102,00	
4	B	1	98,80	99,40	101,80	101,80
		2	99,40		101,70	
		3	100,00		102,00	
5	B	1	100,40	100,90	101,90	101,20
		2	100,90		101,50	
		3	101,50		100,10	
1	C	1	71,80	71,30	68,90	69,60
		2	72,00		69,50	
		3	70,00		70,50	
2	C	1	95,70	96,20	94,50	95,00
		2	95,60		94,70	
		3	97,30		95,70	
3	C	1	97,30	97,60	96,30	96,40
		2	97,40		95,50	
		3	98,10		97,50	
4	C	1	98,20	99,20	97,50	98,00
		2	99,40		98,00	
		3	100,10		98,50	
5	C	1	99,80	99,80	98,20	98,90
		2	99,80		99,00	
		3	99,90		99,50	
1	D	1	70,20	70,50	70,10	70,00
		2	69,80		70,10	
		3	71,60		69,80	

2	D	1	97,20	99,30	99,20	100,60
		2	100,00		101,50	
		3	100,60		101,00	
3	D	1	98,00	98,20	96,50	97,60
		2	98,20		97,70	
		3	98,40		98,50	
4	D	1	97,80	97,80	96,30	96,90
		2	98,40		96,70	
		3	97,20		97,80	
5	D	1	99,00	98,70	97,40	98,00
		2	97,30		99,00	
		3	99,70		97,50	

Os resultados do ruído apresentados na Tabela 4.23 estão em consonância com a pesquisa realizada por Poletto Filho (2013) e Alonço *et al.* (2006), já que os Níveis de Pressão Sonora ficaram próximos aos resultados dos referidos autores na utilização de roçadoras.

A seguir, realizou-se a análise gráfica dos testes de ruído com as roçadoras laterais motorizadas. Como se pode visualizar na Tabela 4.24, os Coeficientes de Variação (C.V.) foram baixos no comparativo entre máquinas, gerou-se, então, um único gráfico para cada máquina para comparação de cada operação e posição do medidor de pressão sonora na medição do ruído.

Tabela 4.24 – Análise estatística do ruído.

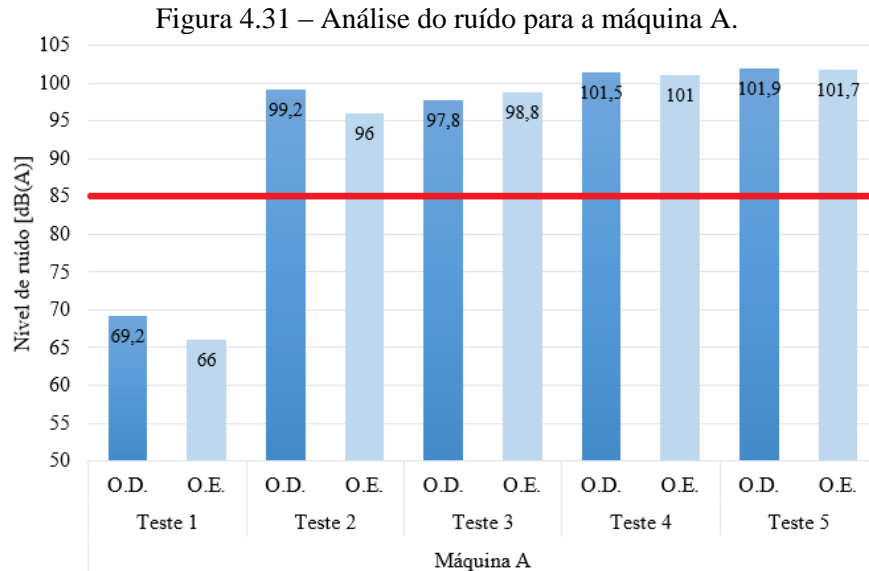
	Teste 1		Teste 2		Teste 3		Teste 4		Teste 5	
	O.D.	O.E.	O.D.	O.E.	O.D.	O.E.	O.D.	O.E.	O.D.	O.E.
<b>Máquina A</b>	69,2	66,0	99,2	96,0	97,8	98,8	101,5	101,0	101,9	101,7
<b>Máquina B</b>	79,5	73,9	101,0	101,3	102,0	101,8	99,4	101,8	100,9	101,2
<b>Máquina C</b>	71,3	69,6	96,2	95,0	97,6	96,4	99,2	98,0	99,8	98,9
<b>Máquina D</b>	70,5	70,0	99,3	100,6	98,2	97,6	97,8	96,9	98,7	98,0
<b>Média</b>	72,6	69,9	98,9	98,2	98,9	98,7	99,5	99,4	100,3	100,0
<b>Desvio Padrão</b>	4,66	3,23	1,99	3,19	2,08	2,32	1,53	2,35	1,38	1,78
<b>Variância</b>	21,76	10,44	3,99	10,15	4,33	5,37	2,33	5,51	1,91	3,18
<b>C.V.</b>	6,4%	4,6%	2,0%	3,2%	2,1%	2,4%	1,5%	2,4%	1,4%	1,8%

#### 4.2.1. Comparativo entre operações e entre posições

##### 4.2.1.1. Máquina A

Através da Figura 4.31, pode-se visualizar os Níveis de Pressão Sonora (NPS) da máquina A. Percebe-se que a única operação em que os níveis de pressão sonora ficaram abaixo dos 85 dB(A), proposto pela Norma Regulamentadora 15 (NR-15) para exposição ao ruído sem danos ao operador em uma jornada de trabalho de 8 horas diárias, foi durante a operação em baixa rotação que apresentou níveis entre 68,80 a 69,90 dB(A) para o ouvido direito e 65,80 a 66,20 dB(A) para o ouvido esquerdo. Todos os outros testes ficaram acima dos 85 dB(A), com níveis entre 97,50 a 102,50 dB(A) para o ouvido direito e níveis entre 94,10 a 101,90 dB(A)

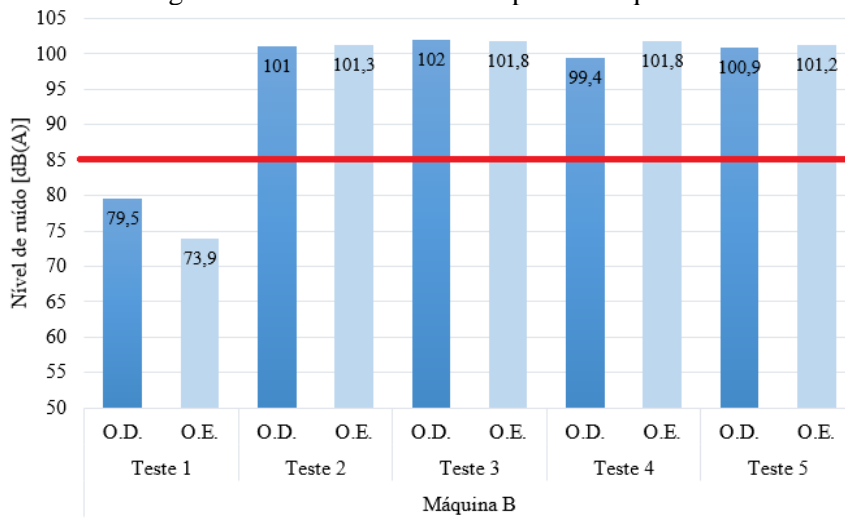
para o ouvido esquerdo. Mais especificamente para um comparativo entre os níveis percebidos pelo ouvido direito e esquerdo, apenas a operação durante o corte com nylon que o ouvido esquerdo apresentou níveis maiores do que o direito, ou seja, o ouvido direito apresentou níveis de pressão sonora maiores do que o esquerdo na maioria dos testes com a máquina A.



#### 4.2.1.2. Máquina B

Através da Figura 4.32, pode-se visualizar os Níveis de Pressão Sonora (NPS) da máquina B. Percebe-se que a única operação em que os níveis de pressão sonora ficaram abaixo dos 85 dB(A), proposto pela Norma Regulamentadora 15 (NR-15) para exposição ao ruído sem danos ao operador em uma jornada de trabalho de 8 horas diárias, foi durante a operação em baixa rotação que apresentou níveis entre 78,60 a 81,10 dB(A) para o ouvido direito e 73,60 a 74,10 dB(A) para o ouvido esquerdo. Todos os outros testes ficaram acima dos 85 dB(A), com níveis entre 98,80 a 102,70 dB(A) para o ouvido direito e níveis entre 100,10 a 102,00 dB(A) para o ouvido esquerdo. Mais especificamente para um comparativo entre os níveis percebidos pelo ouvido direito e esquerdo, a operação em baixa rotação e com corte com nylon em que o ouvido direito apresentou níveis maiores do que o esquerdo, ou seja, o ouvido esquerdo apresentou níveis de pressão sonora maiores do que o direito na maioria dos testes com a máquina B.

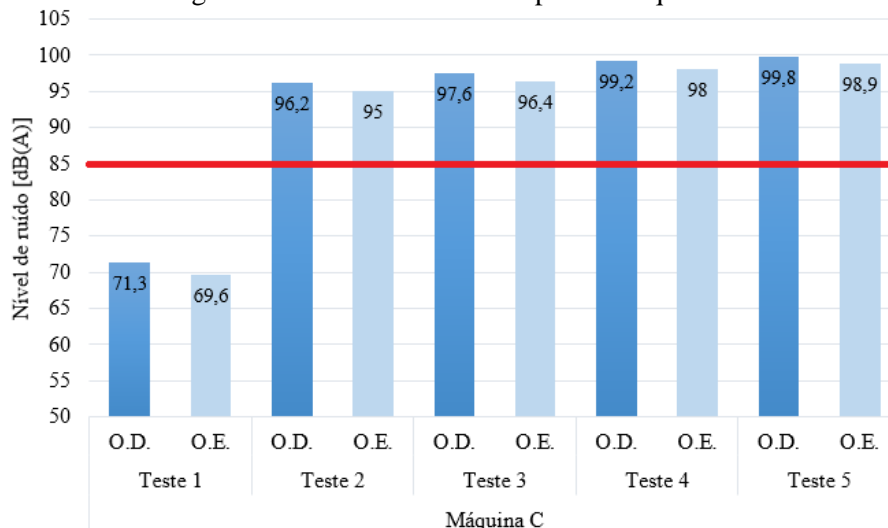
Figura 4.32 – Análise do ruído para a máquina B.



#### 4.2.1.3. Máquina C

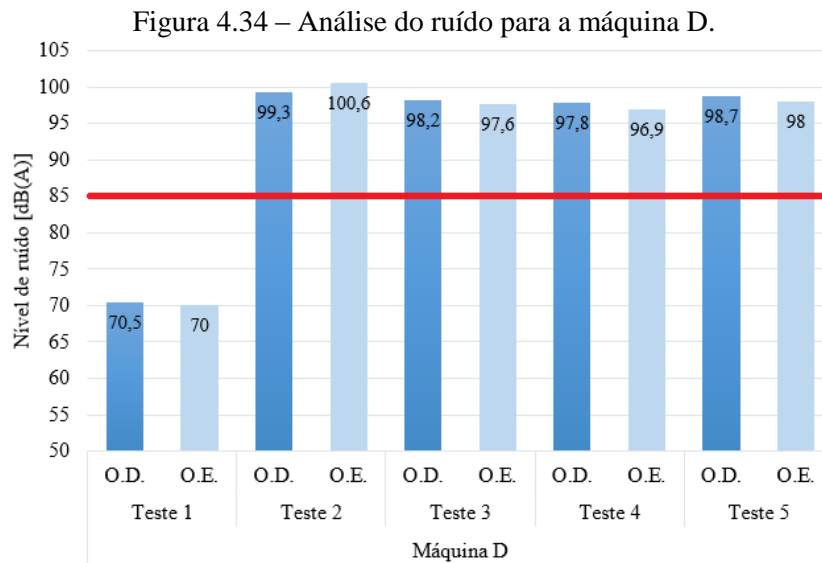
Através da Figura 4.33, pode-se visualizar os Níveis de Pressão Sonora (NPS) da máquina C. Percebe-se que a única operação em que os níveis de pressão sonora ficaram abaixo dos 85 dB(A), proposto pela Norma Regulamentadora 15 (NR-15) para exposição ao ruído sem danos ao operador em uma jornada de trabalho de 8 horas diárias, foi durante a operação em baixa rotação que apresentou níveis entre 70,00 a 72,00 dB(A) para o ouvido direito e 68,90 a 70,50 dB(A) para o ouvido esquerdo. Todos os outros testes ficaram acima dos 85 dB(A), com níveis entre 95,60 a 100,10 dB(A) para o ouvido direito e níveis entre 94,50 a 99,50 dB(A) para o ouvido esquerdo. Mais especificamente para um comparativo entre os níveis percebidos pelo ouvido direito e esquerdo, todas as operações da máquina C apresentaram níveis de pressão sonora maiores para o ouvido direito.

Figura 4.33 – Análise do ruído para a máquina C.



#### 4.2.1.4. Máquina D

Através da Figura 4.34, pode-se visualizar os Níveis de Pressão Sonora (NPS) da máquina D. Percebe-se que a única operação em que os níveis de pressão sonora ficaram abaixo dos 85 dB(A), proposto pela Norma Regulamentadora 15 (NR-15) para exposição ao ruído sem danos ao operador em uma jornada de trabalho de 8 horas diárias, foi durante a operação em baixa rotação que apresentou níveis entre 69,80 a 71,60 dB(A) para o ouvido direito e 69,80 a 70,10 dB(A) para o ouvido esquerdo. Todos os outros testes ficaram acima dos 85 dB(A), com níveis entre 97,20 a 100,60 dB(A) para o ouvido direito e 96,30 a 101,50 dB(A) para o ouvido esquerdo. Mais especificamente para um comparativo entre os níveis percebidos pelo ouvido direito e esquerdo, apenas a operação em alta rotação com nylon em que o ouvido esquerdo apresentou níveis maiores do que o direito, ou seja, o ouvido direito apresentou níveis de pressão sonora maiores do que o esquerdo na maioria dos testes com a máquina D.



#### 4.2.2. Considerações gerais

É possível constatar que os Níveis de Pressão Sonora (NPS) apresentaram-se semelhantes entre as máquinas utilizadas na pesquisa, ou seja, não houve diferenças significativas entre os níveis de ruído gerados por máquinas com potências diferentes. Constatou-se que os testes em alta rotação e durante a ceifa da vegetação, para ambas as ferramentas de corte, apresentaram níveis médios de 95,00 a 102,00 dB(A), níveis esses que, segundo a NR-15 (2014), apresentam máxima exposição entre 45 minutos a 2 horas. No estudo realizado com roçadoras por Jaafar *et al.* (2017), a intensidade do ruído variou de 91,30 a 100,70 dB(A).

Percebe-se, então, a importância da utilização de protetores auriculares para atenuar os níveis de ruído que chegam aos ouvidos dos operadores de roçadoras laterais motorizadas. Pessina e Guerretti (2000) na avaliação da eficiência de vários dispositivos para a redução de ruído no ouvido de operadores de tratores agrícolas, chegaram à conclusão que, em média, os protetores auriculares permitem uma atenuação na ordem de 10 dB(A). Dessa forma, mesmo com a utilização dos protetores auriculares, ainda não seria possível a utilização das roçadoras durante 8 horas em uma jornada diária de trabalho.

É importante, também, que durante a realização da ceifa da vegetação em um local onde há mais de um trabalhador utilizando roçadora lateral, caracterizado como fonte de ruído, que haja distância significativa entre as fontes para que se evite exposição ao ruído combinado. Haron *et al.* (2015) e Mallick *et al.* (2009) recomendam, em seus trabalhos sobre níveis de ruído, distância de 15 metros entre um trabalhador e outro.

Nota-se que a operação em baixa rotação foi o único teste para as quatro máquinas que apresentou níveis abaixo dos 85 dB(A). Percebe-se, então, que as roçadoras com motores em baixa rotação, conseqüentemente sem rotação da ferramenta de corte, geram menores níveis de ruído do que em alta rotação e durante a ceifa da vegetação. Tal fato está em consonância com a pesquisa realizada com roçadoras por Mallick *et al.* (2009), em que os autores concluíram que o aumento da rotação, em rpm, proporcionou maiores níveis de ruído e causa, dessa forma, maior inconveniente para os operadores de tais máquinas. Os mesmos autores comentam que, em roçadoras, o motor é a fonte principal de geração de ruído enquanto o cabeçote, com a ferramenta de corte em alta rotação, é a fonte secundária.

Foi possível constatar, ainda, que os níveis de ruído no ouvido direito foram ligeiramente maiores em 75% dos testes realizados, esse fato está em consonância com Alonço *et al.* (2006) que chegaram em níveis de ruído maiores para o ouvido direito do que para o esquerdo durante operação com roçadoras. Supostamente, esse fato pode ser explicado pela maior proximidade do ouvido direito às fontes geradoras de ruído que é o motor e a ferramenta de corte em alta rotação e em contato com a vegetação, já que as roçadoras são montadas ao lado direito dos operadores deste tipo de ferramenta.



## 5. CONCLUSÕES

O eixo z apresentou maior intensidade nos níveis de vibração em 50% das repetições e testes realizados, seguido do eixo x com 32% e pelo eixo y com 18%, ou seja, o eixo z foi dominante para os testes com roçadoras laterais.

As roçadoras com menor potência do motor apresentaram, em média, menores níveis e variabilidade de vibração.

Já o teste que apresentou menores níveis de vibração foi a operação em baixa rotação. Vale salientar que para esse teste a única fonte geradora de vibração em roçadoras é o próprio motor.

As lâminas utilizadas no corte da vegetação podem amplificar a vibração transmitida à empunhadura da roçadora, quando não balanceada e afiada. Já o nylon pode gerar altos níveis de aceleração, supostamente, por se tratar de um material irregular e quebradiço.

A operação em baixa rotação apresentou Níveis de Pressão Sonora (NPS) abaixo dos 85 dB(A) para todas as máquinas, já os testes em alta rotação e durante a ceifa da vegetação apresentaram níveis acima dos 85 dB(A).

A utilização de roçadoras em um tempo absoluto não pode ser definido, já que tanto a vibração quanto o ruído dependem de diversas variáveis como já discutidas nesse trabalho.

A vibração em mãos e braços e o ruído apresentaram valores proibitivos para uma jornada de trabalho de 8 horas diárias para os testes em alta rotação e durante a ceifa da vegetação.

### 5.1. Sugestões para trabalhos futuros

Para complemento e possíveis trabalhos futuros com o tema do presente trabalho, pode-se citar:

- Análise da vibração com um sistema de aquisição em que possibilite a avaliação da frequência para melhor interpretação dos resultados;
- Mapeamento da vibração em toda a máquina para compreensão das partes críticas e suscetíveis à transmissão para a empunhadura;
- Sugestões de possíveis melhorias de projeto para diminuição dos níveis de vibração e ruído.

## Referências

- AINSA, I.; GONZALEZ, D.; LIZARANZU, M.; BERNAD, C., Experimental evaluation of uncertainty in hand-arm vibration measurement. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v.41, p.167-179, march, 2011.
- ALONÇO, A. S.; MEDEIROS, C. A.; MEDEIROS, F. A.; WERNER, V. Análise ergonômica do trabalho em atividades desenvolvidas com uma roçadora manual motorizada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36 n.5, p.1638-1642, set-out, 2006.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL, 2016. Disponível em: <<http://www.mtps.gov.br/dados-abertos/dados-da-previdencia/estatistica-saude-e-seguranca-do-trabalhador/anuario-estatistico-de-acidentes-do-trabalho-aeat>>. Acesso em 16/07/2016.
- ARAÚJO, S. A. Perda auditiva induzida pelo ruído em trabalhadores de metalúrgica. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, v.68, n.1, p. 47-52, 2002.
- ARAÚJO, F. E. **Controle de ruído em motores de indução trifásico de médio e grande porte**. Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- AZEVEDO, P. C. **Estudo da geração de ruído em prensas excêntricas de 900 toneladas**. Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, na Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- BAAD, S. M.; QAIMI, M. G.; A review on hand arm vibration with special reference to motorcycle handlebar. **Indian Journal of Research**, v.5, june 2016.
- BASTOS, R. S. **Reconhecimento da perda de eficácia de protetor intra-auricular**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenho Industrial, na Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP – Campus de Bauru – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.
- BASTOS, R. C.; BIFANO, A. C. S.; “Estado da arte” sobre as publicações científicas envolvendo o trabalho agrícola familiar no Brasil sob o ponto de vista ergonômico. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.25, n.1, p.27-37, 2017.
- BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 2 ed. revista – São Paulo: Edgard Blücher, 2011. 380 p.
- BOVENZI, M.; A prospective cohort study of exposure-response relationship for vibration-induced white finger. **Occupational & Environmental Medicine**, v.67, p.38-46, 2010.
- BRASIL. Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978. **Aprova as Normas Regulamentadoras – NR – do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leias do Trabalho, relativas a Segurança do Trabalho e Medicina do Trabalho**. Disponível em :<<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/839945.pdf>>. Acesso em 26/10/2017.
- Brasil. Decreto n° 6.042 de 12 de fevereiro de 2007. **Altera o Regulamento da Previdência Social, aprovado pelo Decreto n° 3.048, de 6 de maio de 1999, disciplina a aplicação,**

**acompanhamento e avaliação do Fator Acidentário de Prevenção - FAP e do Nexo Técnico Epidemiológico, e dá outras providências.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/decreto/d6042.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6042.htm)> Acesso em 23/10/2017.

BRASIL. Lei n.º 8.213, de 24 de julho de 1991. **Dispõe sobre os planos de benefícios da Previdência Social e dá outras providências.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L8213cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8213cons.htm)>. Acesso em 12/08/2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 6 – Equipamento de Proteção Individual - EPI.** Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR6.pdf>>. Acesso em 10 de abril de 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 7 – Programa de controle médico de saúde ocupacional.** Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR7.pdf>>. Acesso em 19 de abril de 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-9 – Programa de prevenção de riscos ambientais.** Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR09/NR-09-2016.pdf>>. Acesso em 21 de setembro de 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 - Atividades e operações insalubres.** Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-15-atividades-e-operacoes-insalubres>>. Acesso em 16 de junho de 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 17 – Ergonomia.** Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR17.pdf>>. Acesso em 20 de junho de 2016.

BRÜEL & KJÆR. **Mechanical Vibration and Shock Measurements.** 2ª edição e 3ª impressão Dinamarca: K. Larsen & Sen, 1984.

CARMO, L. I. C. **Efeitos do ruído ambiental no organismo humano e suas manifestações auditivas.** Monografia de Conclusão do Curso de Especialização em Audiologia Clínica, Goiânia, 1999.

CARVALHO, M. A. S. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

CHATURVEDI, V.; KUMAR, A.; SINGH, J. Power tiller: vibration magnitudes and intervention development for vibration reduction. **Applied ergonomics**, v. 43, n. 5, p. 891-901, 2012.

CORRÊA, A. S. **A influência da folga de válvulas na geração de ruído e vibração no motor fire 999cc 8V.** Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, na Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CUNHA, I. A. **Exposição ocupacional à vibração em mãos e braços em marmorarias no município de São Paulo**: proposição de procedimento alternativo de medição. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CUNHA, I. A.; GIAMPAOLI, E. **NHO 09**: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro. São Paulo: Fundacentro, 2013

CUNHA, I. A.; GIAMPAOLI, E. **NHO 10**: Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços. São Paulo: Fundacentro, 2013.

DEBIASI, H.; SCHLOSSER, J. F.; WILLES, J. A. Acidentes de trabalho envolvendo conjuntos tratorizados em propriedades rurais do Rio Grande do Sul. **Ciencia Rural**, Rio Grande do Sul, 2004.

DEWANGAN, K. N.; TEWARI, V.K. Characteristics of hand-transmitted vibration of a hand tractor used in three operational modes. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v.39, p.239-245, 2009.

DONG, R. G.; SCHOPPER, A. W.; MCDOWELL, D. E.; WELCOME, D.E.; WU, J. Z.; SMUTZ, W. P.; WARREN, C.; RAKHEJA, S. Vibration energy absorption (VEA) in human fingers-hand-arm system. **Medical Engineering & Physics**, v.26, n.6, p.483-492, 2004.

DONG, R. G.; WELCOME, D. E.; MCDOWELL, T. W.; WU, J. Z.; SCHOPPER, A. W., Frequency weighting derived from power absorption of fingers-hand-arm system under Zh-axis. **Journal of Biomech**, v.39, n.12, p.2311-2324, 2006.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia prática**. Tradução Itiro Iida – 2ª ed. rev. e ampl. – São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

EUROPEAN COMMISSION, 2002. **Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of 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)**. Official Journal of the European Communities, L177/13.

EUROPEAN COMMISSION, 2006. **Directive 2006/42/EC of the European Parliament and 17 May 2006 on machinery**. Official Journal of the European Communities, L157/24.

EVEREST, F. A.; POHLMANN, K. C. **Master handbook of acoustics**. 5 ed. McGraw-Hill, 2009.

FARIA, N. M. X. **Saúde do trabalhador rural**. 2005. 263 folhas, Tese (Doutorado em epidemiologia). Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.

FERNANDES, J. C. **Acústica, ruídos e perda de audição**, 9<sup>th</sup> Brazilian Conference on Dynamics, Control and their Application, June 07-11, 2010.

FERREIRA, L.; GURGUEIRA, G. P. Ergonomia como fator econômico no pensamento Enxuto: uma análise crítica bibliográfica. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 8, n.3, p. 39-51, jul-set/2013.

FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; GUIMARÃES, P. P.; WANDERLEY, F. B.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. Análise das vibrações transmitidas aos trabalhadores em marcenarias no sul do Espírito Santo. **Revista Cerne**, v.16, n.2, .p.235-242, abril-junho, 2010.

FLIMEL, M.; DUPLÁKOVÁ, D. Ergonomic rationalization of transmitted vibration to hands of the workers. **Journal of Vibration and Control**, Vol. 23(4), p.517-525, 2017.

FUTATSUKA, M.; SHONO, M.; SAKAKIBARA, H.; QUAN, P. Q. Hand arm vibration syndrome among quarry workers in Vietnam. **Journal of Occupational Health**, v.47, p.165-170, 2005.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e controle**. 2ed. Florianópolis: Nr Editora, 2000. 676 p.

GIMENES, M. J. F., **Perdas auditivas em operadores de teleatendimento de uma empresa aérea**. Tese (Doutorado em Ciências) Programa de Pós-Graduação Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

GOMES, H. M.; SAVIONEK, D., Measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to hand-arm system during leisure cyclist activity. **Brazilian Journal of Biomedical Engineering**, v.30, n.4, p.291-300, dec. 2014.

GONÇALVES, P. J. P.; SILVEIRA, M.; JUNIOR, B. R. P.; BALTHAZAR, J. M., The dynamic behavior of a cantilever beam coupled to a non-ideal unbalanced motor through numerical and experimental analysis. **Journal of Sound and Vibration**, v. 333, n. 20, p.5115–5129, 2014.

GRIFFIN, M. J., Measurement, evaluation, and assessment of occupational exposure to hand-transmitted vibration. **Occupational and Environmental Medicine**, p.54-73, 1997.

HAO, K. Y.; EAN, O. L.; RIPIN, Z. M., The design and development of suspended handles for reducing hand-arm vibration in petrol driven grass trimmer. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 41, p. 459-470, 2011.

HARGER, M. R. H. C; BARBOSA-BRANCO, A., Efeitos Auditivos Decorrentes da Exposição Ocupacional ao Ruído em Trabalhadores de Marmorarias no Distrito Federal. **Rev. Assoc. Med. Bras.** p. 396-399, 2004.

HARON, Z.; DARUS, N; HAN, L. M; JAHYA, Z.; HAMID, M. F. A.; YAHYA, K; LEE, Y. L; SHEK, P, N., A preliminary study of occupational noise exposure among leaf blower and grass cutters workers in public university. **Journal Teknologi (Sciences & Engineering)**. 77:16), p. 153-159, 2015.

HEWITT, S.; DONG, R.; MCDOWELL, T.; WELCOME, D., The efficacy of anti-vibration gloves. **Acoustics Australia**, v.44(1), p.121-127, 2016.

HEYWOOD, J. B. **Internal Combustion Engine Fundamentals**. McGraw-Hill International ed, 1988, 930p.

HOGG, R. V.; LEDOLTER, J. **Applied Statistics for Engineers and Physical Scientists**. 2nd ed. New York. Macmillan, 472p, 1992.

HOUSE, R. A. Hand-Arm Vibration Syndrome. **The Workplace Safety and Insurance Appeals Tribunal**, 2010.

HYPPOLITO, M. A. **Perdas Auditivas Condutivas**. Simpósio: Surdez: Implicações Clínicas e Possibilidades Terapêuticas, Capítulo III, 2005.

IIDA, I.; BUARQUE, L., **Ergonomia: Projeto e Produção**. 3ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2016, 850p.

INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION (IEA). **What is Ergonomics?** Disponível em <<http://www.iea.cc/whats/index.html>>. Acesso em 20/09/2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), Geneva. ISO 5349-1 – **Mechanical vibration – measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration**. Part 1: General requirements. Geneva, 2001a, 24p

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), Geneva. ISO 5349-2 – **Mechanical vibration – measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration**. Part 2: Practical guidance for measurement at work place. Geneva, 2001b, 39p

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), Geneva. ISO 8041 – **Human response to vibration – measuring instrumentation**. Geneva, 2005, 91p

JAAFAR, N. I.; DAUD, M. K. M.; MOHAMMAD, I.; RAHMAN, N. A., Noise-induced hearing loss in grass-trimming workers. **Egyptian Journal of Ear, Nose, Throat and Allied Sciences**, 2017.

KORFALI, S. I., MASSOUD, M., Assessment of community noise problem in greater Beirut area, Lebanon. **Environmental Monitoring and Assessment**, p.203–218, 2003.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia: Adaptando o Trabalho ao Homem**. Porto Alegre: Bookman editora, 2005.

MALLICK, Z., Optimization of the operating parameters of a grass trimming machine. **Applied Ergonomics**, v.41, p.260-265, 2010.

MALLICK, Z.; BADRUDDIN, I. A.; KHALEED-HUSSAIN, M. T.; SALMAN-AHMED, N. J.; KANESAN, J. Noise characteristics of grass-trimming machine engines and their effect on operators. **Noise & Health**, 11:43, p.98-102, April-June 2009.

MARTINS, P.G.; LAUGENI, F.P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2005.

MARCOTTE, P.; ALDIEN, Y.; BOILEAU, P. –É; RAKHEJA, S.; BOUTIN, J.; Effect of handle size and hand-handle contact force on the biodynamic response of the hand-arm system under  $z_h$ -axis vibration. **Journal of Sound and Vibration** 283, p.1071-1091, 2005.

MBUTSHU, L. H.; MALONGA, K. F.; NGATU, N. R.; KANBARA, S.; LONGO-MBENZA, B.; SUGANUMA, N., Incidence and predictors of hand-arm musculoskeletal complaints among vibration-exposed African cassava and corn millers. **Safety and Health at Work**, p.131-135, 2014.

MELO, R. M. B., **Exposição ocupacional a vibrações transmitidas ao corpo inteiro: fatores condicionantes na condução de autocarros urbanos**. Tese (Doutorado no ramo de Motricidade Humana, Especialidade em Ergonomia) Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Motricidade Humana, 2006.

MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL. Anuário Estatístico da Previdência Social 2015. Brasília: V.1. 2015. p. 1-991.

NADYA, S.; DAWAL, S. Z.; TUAN YA, T. M. Y. S; HAMIDI, M., **A study of Occupational noise exposure among toll tellers at toll plaza in Malaysia**. Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, p. 1-5, Hong Kong, China, 2010.

OLIVEIRA NETTO, A. A.; TAVARES, W. R. **Introdução à Engenharia de Produção**. Florianópolis: Visual Book, 2006.

PASCHOARELLI, L. C.; MENEZES, M. S. **Design e ergonomia: Aspectos Tecnológicos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

PESSINA, D.; GUERRETTI, M. Effectiveness of hearing protection devices in the hazard reduction of noise from used tractors. **Journal of Agricultural Engineering Resource**, v. 75, n.1, p. 73-80, 2000.

POLETTTO FILHO, J. A., **Análise dos riscos físicos e ergonômicos em roçadora transversal motorizada**. Tese (Doutorado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, 2013.

POLETTTO FILHO, J. A.; SANTOS, J. E. G.; POLETTTO, H. M. C. Análise dos riscos físicos e ergonômicos em roçadora transversal motorizada. **Revista Brasileira de Ergonomia**, v.10, n.1, p.70-81, 2015.

POOLE, C. J. M; CLEVELAND, T. J., Vascular hand-arm vibration syndrome – magnetic resonance angiography. **Occupational Medicine**, v.66, n.1, p.75-78, 2016.

PROGRAMA NACIONAL DE PREVENÇÃO DE ACIDENTES DE TRABALHO. **Programa trabalho seguro. O que é acidente de trabalho?** Disponível em: <http://www.tst.jus.br>. Acesso: 14/07/2016

RAO, S. S. **Vibrações mecânicas**. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.424p

ROTHSTEIN, J. R.; BERNDT, A.; MORAES, J. C. S.; LANFERDINI, F. J. Impacto de uma metodologia interativa de ergonomia de conscientização. **Fisioterapia & Pesquisa**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 11-16, mar. 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**, v. 4, n. 1, p. 10-46, 2016.

SALIBA, T.M., **Manual prático de avaliação e controle de vibração**. 2.Ed. São Paulo, Editora LTr, 2013.

SASIKUMAR, R.; LENIN, K., Ergonomics in poor hand tools design and musculoskeletal disorder of workers during various working environment. **Advances in Natural and Applied Sciences**. 10(7), p.284-292, 2016.

SAVIONEK, D.; GOMES, H. M., Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística. **Revista Liberato**, v.13, n.20, p. 113-132, 2012.

SCHLOSSER, J. F.; **Máquinas Agrícolas**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2002. 207f. (Série Técnica I).

SILVA, A. S.; SALES, J. G. S., **Desenvolvimento de uma bancada experimental para o estudo da vibração em motor monocilíndrico e realização de balanceamento dinâmico**. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, São Luiz – MA, 2012.

SILVA, I.; LOUREIRO, T.; ALMEIDA, I.; MANSILHA, A.; ALMEIDA, R.; VASCONCELOS, C.; Fenómeno de Raynaud. **Angiologia e Cirurgia Vascular**, v.7, n.1, p.13–20, 2011.

SINGH, J.; KHAN, A. A.; Effect of coating over the handle of a drill machine on vibration transmissibility. **Applied Ergonomics**, v.45, p.239-246, 2014.

SOEIRO, N. S. **Vibração e o Corpo Humano**: uma avaliação ocupacional. In: 1º Workshop de vibração e acústica, 2011.

SVIECH, P. S; GONCALVES, C. G. O.; MORATA, T. C.; MARQUES, J. M. The evaluation of comfort of the personal hearing protection devices as an intervention for hearing loss prevention. **Rev. CEFAC**, São Paulo, v.15, n.5, p. 1325-1337, Oct. 2013.

TAMHANE, A. C.; DUNLOP, D. D. **Statistics and data analysis**: from elementary to intermediate. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 722p, 2000.

TAYLOR, C. F., **Análise dos motores de combustão interna**. Tradução de Mauro Ormeu Cardoso Amorelli, v.2, Editora Edgard Blucher Ltda, 1976. 531p

TILLMANN, C. A. C., **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec, 2013. 165p.

TOSIN, R. C.; LANÇAS, K. P.; ARAUJO, J. A. B., Avaliação do ruído no posto de trabalho em dois tratores agrícolas. **Revista Energia na Agricultura**, vol. 24, n.4, p.108-118, 2009.



VENDRAME, A. C., **Vibrações Ocupacionais**, 2005, disponível em: <[http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes\\_vendrame.pdf](http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes_vendrame.pdf)>, acesso em 11/08/2016

VERGARA, L. G. L., **Avaliação do ensino de ergonomia para o design aplicando a teoria da resposta ao item (TRI)**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

VIHLBORG, P.; BRYNGELSSON, L.; LINDGREN, B.; GUNNARSSON, L. G.; GRAFF, P. Association between vibration exposure and hand-arm vibration symptoms in a Swedish mechanical industry. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v.62, p.77-81, 2017.

WISNER, A. **Por dentro do trabalho**. São Paulo: Oboré/FTD, 1987.

XIMENES, G. M., **Gestão ocupacional da vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

Anexos

ANEXO A – Certificado de calibração para o eixo x.

**~ Calibration Certificate ~**  
Per ISO 16063-21

Model Number: SEN021F  
 Serial Number: P141400 (x axis)  
 Description: ICP® Triaxial Accelerometer  
 Manufacturer: PCB Method: Back-to-Back Comparison AT-401-3

**Calibration Data**

Sensitivity @ 100 Hz      9.49 mV/g  
 (0.968 mV/m/s<sup>2</sup>)      Output Bias      11.0 VDC  
 Discharge Time Constant      1.3 seconds      Transverse Sensitivity      1.2 %

**Sensitivity Plot**

Temperature: 73 °F (23 °C)      Relative Humidity: 32 %

**Data Points**

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
10	1.7	300	-0.7
15	1.4	500	-1.2
30	1.0	1000	-1.8
50	0.6	3000	-4.0
REF. FREQ.	0.0	3500	-4.6

Mounting Surface: Epoxy/Blue      Potting: Adhesive      Fixture Orientation: Inverted Vertical  
 Acceleration Level (g): 10g (200 m/s<sup>2</sup>)  
 \*The acceleration level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the listed level cannot be obtained, the calibration system uses the following formula to set the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 0.004 x (freq)<sup>1.5</sup>  
 \*The gravitational constant used for calculations by the calibration system is: 1 g = 9.80665 m/s<sup>2</sup>

**Condition of Unit**

As Found: n/s  
 As Left: New Unit, In Tolerance

**Notes**

1. Calibration is NIST Traceable thru Project 681/280472 and PTB Traceable thru Project 10065.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 9001, ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.
5. Measurement uncertainty (95% confidence level with coverage factor of 2) for frequency ranges tested during calibration are as follows: 5-9 Hz; +/- 2.0%, 10-99 Hz; +/- 1.5%, 100-1999 Hz; +/- 1.0%, 2-10 kHz; +/- 2.5%.

Technician: Patrick L. McCalister      Date: 3/21/2013

ACCREDITED  
CALIBRATION CERT #1942-01  
PAGE 1 of 1

**PCB PIEZOTRONICS™**  
VIBRATION DIVISION  
3425 Walden Avenue      Depew, NY 14043  
TEL: 888-684-0013      FAX: 716-835-3886      www.pcb.com

CAL-340314721-01-01

ANEXO B – Certificado de calibração para o eixo y.

**~ Calibration Certificate ~**  
Per ISO 18663-21

Model Number: SEN021F  
 Serial Number: P141400 (y axis)  
 Description: ICP® Triaxial Accelerometer  
 Manufacturer: PCB Method: Back-to-Back Comparison AT-401-3

**Calibration Data**

Sensitivity @ 100 Hz: **9.68 mV/g** Output Bias: 10.9 VDC  
 (0.987 mV/m/s<sup>2</sup>) Transverse Sensitivity: 1.0 %  
 Discharge Time Constant: 1.3 seconds

**Sensitivity Plot**

Temperature: 73 °F (23 °C) Relative Humidity: 32 %

**Data Points**

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
10	1.9	300	-0.8
15	1.5	500	-1.4
30	1.0	1000	-2.2
50	0.6	3000	-5.7
REF. FREQ.	0.0		

Mounting Surface: Piezofilm Fastener: Adhesive Plate Orientation: Vertical  
 Acceleration Level (g): 10 g (98.1 m/s<sup>2</sup>)  
 (The acceleration level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the listed level cannot be obtained, the calibration system uses the following formula to set the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 0.008 x (10g)  
 (The formula is not used for calculations by the calibration system as: 1 g = 9.80665 m/s<sup>2</sup>)

**Condition of Unit**

As Found: n/a  
 As Left: New Unit, In Tolerance

**Notes**

1. Calibration is NIST Traceable thru Project 681/280472 and PTB Traceable thru Project 10065.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 9001, ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.
5. Measurement uncertainty (95% confidence level with coverage factor of 2) for frequency ranges tested during calibration are as follows: 3-9 Hz; +/- 2.0%, 10-99 Hz; +/- 1.5%, 100-1999 Hz; +/- 1.0%, 2-10 kHz; +/- 2.5%.

Technician: Patrick L. McCalister 2-1 Date: 3/21/2013

ACCREDITED  
CALIBRATION CERT #1862 01  
PAGE 1 of 1

**PCB PIEZOTRONICS™**  
 VIBRATION DIVISION  
 3425 Wadsworth Avenue Depew, NY 14043  
 TEL: 888-684-6013 FAX: 716-585-3836 www.pcb.com

CALL 24HOURS 7/24



ANEXO C – Certificado de calibração para o eixo z.

## ~ Calibration Certificate ~

Per ISO 16063-21

**Model Number:** SEN021F  
**Serial Number:** P141400 (z axis)  
**Description:** ICP® Triaxial Accelerometer  
**Manufacturer:** PCB                      **Method:** Back-to-Back Comparison AT-401-3

### Calibration Data

<b>Sensitivity @ 100 Hz</b>	<b>10.03 mV/g</b> (1.023 mV/m/s <sup>2</sup> )	<b>Output Bias</b>	10.9 VDC
<b>Discharge Time Constant</b>	1.3 seconds	<b>Transverse Sensitivity</b>	1.2 %

### Sensitivity Plot

Temperature: 73 °F (23 °C)                      Relative Humidity: 32 %

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
10	1.7	300	-0.9
15	1.6	500	-1.4
30	1.0	1000	-2.3
50	0.6	3000	-5.8
REF. FREQ.	0.0		

Mounting Surface: Beryllium-copper Washer    Fastener: 10-32 Female                      Fixture Orientation: Vertical  
 Acceleration Level (G): 30.0 (98.1 m/s<sup>2</sup>)  
 \*The acceleration level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the listed level cannot be obtained, the calibration system uses the following formula to set the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 0.008 x (Disp).  
 \*The gravitational constant is used for calculations by the calibration system is: 1 g = 9.80665 m/s<sup>2</sup>.

### Condition of Unit

**As Found:** n/a  
**As Left:** New Unit, In Tolerance

### Notes

1. Calibration is NIST Traceable thru Project 681/280472 and PTB Traceable thru Project 10065.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 9001, ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.
5. Measurement uncertainty (95% confidence level with coverage factor of 2) for frequency ranges tested during calibration are as follows: 5-9 Hz; +/- 2.0%, 10-99 Hz; +/- 1.5%, 100-1999 Hz; +/- 1.0%, 2-10 kHz; +/- 2.5%.

**Technician:** Patrick L. McCalister                      **Date:** 3/21/2013

ACCREDITED  
CALIBRATION CERT #1842-01  
PAGE 1 of 1

**PCB PIEZOTRONICS™**  
VIBRATION DIVISION  
3425 Walden Avenue    Depew, NY 14043  
TEL: 855-684-0013    FAX: 716-85-3886    www.pcb.com

CALA-3425/2330-021-1

ANEXO D – Características técnicas do acelerômetro.

Model Number <b>SEN021F</b>	<b>TRIAXIAL SHEAR ICP® ACCELEROMETER</b>		Formulas: A
<b>DYNAMIC PERFORMANCE</b>			
Voltage Sensitivity	10 [1.02]	mV/g [mV/ms <sup>2</sup> ]	
Measurement Range (±5%)	800 [4 900]	±g pk [±ms <sup>2</sup> pk]	(±10%)
Frequency Range (±5%)	0.5 - 2 500 (Y,Z) 0.5 - 3 000 (X)	Hz	[4]
Mounted Resonant Frequency	≥25	KHz	
Broadband Resolution (1Hz to 1000Hz)	0.0005 [0.0005]	g rms [ms <sup>-2</sup> rms]	[1]
Amplitude Linearity (400 g)	± 1	%	[2]
(500 g)	± 2	%	[2]
± 5	%		
<b>ENVIRONMENTAL</b>			
Shock Limit - All Axes (medium)	7,000 [68 800]	±g pk [±ms <sup>2</sup> pk]	[1]
Operating Temperature Range	-45 to +250 [-64 to +121]	°F [°C]	
Temperature Response	See Graph	%/F [%/°C]	
Strain Sensitivity	0.001 [0.01]	g/µε [(ms <sup>-2</sup> )/µε]	[1]
<b>ELECTRICAL</b>			
Excitation Voltage/Constant Current	20 to 30 / 2 to 20	VDC/mA	
Output Impedance	< 200	ohms	
Output Bias	8 to 12	VDC	
Discharge Time Constant	1.0 to 2.0	sec	
Warm Up Time (within 1% of output bias)	< 5	sec	
Spectral Noise (1 Hz)	100 [1,472]	µg/√Hz [(µms <sup>-2</sup> )/√Hz]	[3]
(10 Hz)	25 [316]	µg/√Hz [(µms <sup>-2</sup> )/√Hz]	[3]
(100 Hz)	10 [39]	µg/√Hz [(µms <sup>-2</sup> )/√Hz]	[3]
(1 kHz)	5 [46]	µg/√Hz [(µms <sup>-2</sup> )/√Hz]	[3]
<b>MECHANICAL</b>			
Sensing Element	Ceramic/Shear	material/geometry	
Housing	Titanium/Hermitec	material/sealing	
Size (cubic envelope)	0.58 [14.0]	in [mm]	
Weight	0.37 [10.6]	oz [gm]	
Electrical Connector	4-Pin/Slide	type/location	
Mounting Thread	10-32 Female	size	
Mounting Torque	10-20 [13-22.5]	in-lb [N-cm]	[4]

**NOTES:**

[1] Typical

[2] Zero-Bias, best-squares, straight line method

[3] See PCB Declaration of Conformance P0223 for details

[4] Upper frequency response is within 1% from specified value

**SUPPLIED ACCESSORIES:**

NIIST Traceable Calibration Certificate

**LARSON DAVIS**  
A PCB PIEZOTRONICS DIV.  
www.LarsonDavis.com

All specifications are at room temperature unless otherwise specified.  
In the interest of constant product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.  
ICP® is a registered trademark of PCB Group, Inc.