

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR**

**EXPOSIÇÃO ÀS VIBRAÇÕES E POSTURAS CORPORAIS  
NA COLHEITA DE MADEIRA MECANIZADA EM FUNÇÃO  
DA DECLIVIDADE DO TERRENO**

TESE DE DOUTORADO

**ANTONIO OZENILTO DE SOUSA LIMA**

**IRATI, PR**

**2025**

**ANTONIO OZENILTO DE SOUSA LIMA**

**EXPOSIÇÃO ÀS VIBRAÇÕES E POSTURAS CORPORAIS  
NA COLHEITA DE MADEIRA MECANIZADA EM FUNÇÃO  
DA DECLIVIDADE DO TERRENO**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes - UNICENTRO  
Orientador

Prof. Dr. Henrique Soares Koehler - UFPR  
Coorientador

Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler - UFES  
Coorientador

IRATI, PR

2025

Catálogo na Publicação  
Rede de Bibliotecas da UNICENTRO

L732e Lima, Antonio Ozenilto de Sousa  
Exposição às vibrações e posturas corporais na colheita de madeira  
mecanizada em função da declividade do terreno / Antonio Ozenilto de  
Sousa Lima. – Irati - PR, 2025.  
xiii, 105 f. : il. ; 28 cm.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste,  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, 2025.

Orientador: Eduardo da Silva Lopes

Coorientador: Henrique Soares Koehler

Coorientador: Nilton Cesar Fiedler

Banca examinadora: Eduardo da Silva Lopes, Denise Ransolin  
Soranso, Nilton Cesar Fiedler, Alison Alfred Klein, Alexandre Behling  
Bibliografia

1. Máquinas florestais. 2. Vibrações mecânicas. 3. Distúrbios  
músculoesqueléticos. 3. Ergonomia. I. Título. II. Programa de Pós-  
Graduação em Ciências Florestais.

CDD 634.9

## TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 63

**Antonio Ozenilto de Sousa Lima**

### **"EXPOSIÇÃO ÀS VIBRAÇÕES E POSTURAS CORPORAIS NA COLHEITA DE MADEIRA MECANIZADA EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE DO TERRENO"**

Tese aprovada em 19/03/2025, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:

Prof<sup>a</sup>. Dra. Denise Ransolin Soranso  
Universidade Federal de Itajubá  
Primeira Examinadora.

Prof. Dr. Nilton César Fiedler  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Segundo Examinador.

Dr. Alisson Alfred Klein  
Ergonomista da Kinebot  
Terceiro Examinador.

Prof. Dr. Alexandre Behling  
Universidade Federal do Paraná  
Quarto Examinador.

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati – PR  
2025

Home Page: <http://www.unicentro.br>

**Campus Santa Cruz:** Rua Salvatore Renna – Padre Salvador, 875, Bairro Santa Cruz – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090  
CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR

**Campus Cedeteg:** Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, Bairro Vila Carli – Fone: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-167 – GUARAPUAVA – PR

**Campus de Irati:** Rua Professora Maria Roza Zanon de Almeida, Bairro Engenheiro Gutierrez – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000  
CEP 84.505-677 – IRATI – PR



ePROTOCOLO

**Correspondência Interna 215/2025.**

Documento: **AtaeTermodAprovacao.pdf**.

Assinatura Avançada realizada por: **Eduardo da Silva Lopes (XXX.247.606-XX)** em 24/03/2025 14:48 Local: UNICE/DEF.

Assinatura Simples realizada por: **Denise Ransolin Soranso (XXX.252.081-XX)** em 24/03/2025 14:37 Local: CIDADAO, **Nilton Cesar Fiedler (XXX.001.976-XX)** em 24/03/2025 14:56 Local: CIDADAO, **Alexandre Behling (XXX.756.090-XX)** em 25/03/2025 17:03 Local: CIDADAO, **Alison Alfred Klein (XXX.766.449-XX)** em 31/03/2025 14:57 Local: CIDADAO, **Antonio Ozenilto de Sousa Lima (XXX.065.572-XX)** em 01/04/2025 10:05 Local: CIDADAO.

Inserido ao documento **1.348.014** por: **Silvana Aparecida Kowalski** em: 24/03/2025 14:17.



Documento assinado nos termos do Art. 38 do Decreto Estadual nº 7304/2021.

A autenticidade deste documento pode ser validada no endereço:  
<https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/validarDocumento> com o código:  
**fb1b6f2f6c8804a39debde3f11beab13**.

À Deus pela orientação nessa jornada, aos meus pais, aos meus irmãos, à minha namorada e amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram me incentivando e apoiando para a execução deste trabalho, dedico.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me conceder as habilidades físicas e intelectuais necessárias para concluir este trabalho. Se, por algum motivo, essas habilidades foram insuficientes, sou grato por Ele ter colocado pessoas em minha trajetória que me auxiliaram significativamente.

Agradeço aos meus pais Mário Vieira de Lima (*in memoriam*) e Raimunda Margarida de Sousa Lima, aos meus irmãos pelo apoio e incentivo, conselhos, orientações e pelas orações para minha proteção divina. Agradeço à minha namorada Leidiane Alves dos Santos, por estar ao meu lado nesta caminhada, sempre apoiando e incentivando desde o início, sendo fundamental para o término dessa jornada.

Agradeço a Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), particularmente ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGF), por incentivar o desenvolvimento profissional em nível superior de ensino e pesquisa, disseminando saberes científicos e tecnológicos para estudantes de todo o país. Agradeço em especial aos docentes pelo conhecimento compartilhado durante o curso. Agradeço à secretária do programa, Silvana Aparecida Kowalski, pelas orientações e apoio prestado a minha pessoa e a todos os alunos da pós, sempre com seriedade, competência e profissionalismo.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes, pela confiança depositada em minha capacidade, pela aceitação de minha orientação e pela dedicação de sua sabedoria e tempo desde o início desta pesquisa, seu planejamento, sua implementação e suas análises. Ao meu coorientador Prof. Dr. Henrique Soares Koehler, da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e ao Prof. Dr. Nilton César Fiedler da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) por toda orientação durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço aos membros do comitê de orientação. A Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Denise Ransolin Soranso da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andrea Nogueira Dias da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) e ao Prof. Dr. Danilo Simões por suas sugestões e recomendações para melhorias desta pesquisa.

Agradeço a todos os colegas (doutorado, mestrado e iniciação científica) do Laboratório de Ergonomia, Colheita e Transporte Florestal da Unicentro, pela troca de conhecimento e experiências. Ao Ivan Cleiton Oliveira da Silva e Alysson Martins por

todo auxílio e conhecimento transmitidos. Ao Lucas, Hargeu e Vinicius pelas trocas de conhecimentos durante as vivências no Laboratório. Ao Leonardo Felipe de Souza pela parceria, auxílio e contribuição na execução da coleta de dados desta pesquisa.

Agradeço à Juliana Florestal, uma empresa do grupo Frameport®, em particular ao Anderson de Costa Paini e ao Reinaldo Hoinacki da Costa pela aceitação da proposta de pesquisa, pela transparência e seriedade em todas as fases de planejamento e realização das tarefas. Desde os primeiros contatos telefônicos, ficou evidente o interesse na realização da pesquisa. Além disso, sou grato pelo apoio e todo suporte logístico sempre que preciso, especialmente quando a coleta de dados se prolongou além do planejado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), à qual agradeço pela concessão de bolsa de estudo. A assistência financeira foi crucial para a minha formação e para a produção e o aprofundamento de conhecimentos no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGF) da Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro).

Obrigado a todos!

## Sumário

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>XII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. HIPÓTESES</b> .....	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
3.1. Objetivo geral.....	4
3.2. Objetivos específicos.....	4
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
4.1. Importância do setor florestal brasileiro.....	5
4.2. Colheita de madeira.....	5
4.2.1. Colheita de madeira em áreas declivosas.....	8
4.3. Ergonomia.....	9
4.3.1. Vibração mecânica.....	10
4.3.2. Postura corporal.....	14
4.3.3. Software <i>Kinebot</i> ®.....	17
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
5.1. Área de estudo.....	19
5.2. População estudada.....	20
5.3. Atividades e máquinas avaliadas.....	21
5.4. Cenários operacionais.....	23
5.5. Procedimento de amostragem.....	23
5.6. Riscos ergonômicos avaliados.....	26
5.6.1. Exposição ocupacional a vibração de corpo inteiro (VCI).....	26
5.6.2. Exposição ocupacional a vibração de mãos e braços (VMB).....	29
5.6.3. Avaliação postural.....	31
5.7. Análise estatística.....	34
5.8. Correlação entre vibração e postura corporal.....	35
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
6.1 Exposição ocupacional a vibração de corpo inteiro (VCI).....	37
6.2 Exposição ocupacional a vibração de mãos e braços (VMB).....	50
6.3 Análise postural.....	53
6.4 Correlação entre as variáveis ergonômicas.....	77
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>85</b>
<b>8. RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>87</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>89</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>99</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Eixos de direção adotados para medição da vibração de corpo inteiro.....	12
<b>Figura 2.</b> Eixos de direção adotados para medição da vibração de mãos e braços....	12
<b>Figura 3.</b> Ângulos de medição para cada articulação dos membros superiores.....	18
<b>Figura 4.</b> Localização geográfica da área de estudo.....	19
<b>Figura 5.</b> Esquema das operações de colheita de madeira avaliadas.....	22
<b>Figura 6.</b> Esquema dos tratamentos, máquinas e procedimentos de coleta de dados.....	26
<b>Figura 7.</b> Medidor de vibração de corpo inteiro (Vibrate Extreme).....	27
<b>Figura 8.</b> Gráfico guia com as zonas de precaução à saúde.....	29
<b>Figura 9.</b> Medidor de vibração de mãos e braços.....	30
<b>Figura 10.</b> Posicionamento da câmera para a captura das imagens para a avaliação postural.....	32
<b>Figura 11.</b> Exemplo do processamento da avaliação postural pelo <i>software</i> Kinebot®.....	33
<b>Figura 12.</b> Esquema da MANOVA aplicada no conjunto de dados.....	36
<b>Figura 13.</b> Padrão típico da Vibração de Corpo Inteiro observado na operação de corte com <i>harvester</i> .....	38
<b>Figura 14.</b> Padrão típico da Vibração de Corpo Inteiro observado na operação de extração por baldeio com <i>forwarder</i> .....	39
<b>Figura 15.</b> Padrão típico da Vibração de Corpo Inteiro observado na operação de extração por arraste com <i>skidder</i> .....	39
<b>Figura 16.</b> Aceleração média resultante nos três eixos de direção (X, Y, Z) nas diferentes classes de declividade do terreno.....	40
<b>Figura 17.</b> Aceleração média na exposição ocupacional à Vibração de Corpo Inteiro nas operações de corte e extração por baldeio e arraste em diferentes classes de declividade do terreno.....	42

<b>Figura 18.</b> Valor da Dose de Vibração (VDV) na exposição ocupacional à Vibração de Corpo Inteiro (VCI) nas operações de corte e extração em diferentes classes de declividade do terreno.....	46
<b>Figura 19.</b> Resultados a Vibração de Corpo Inteiro projetados no gráfico guia da ISO 2631-1:2010 para as operações de corte com <i>Harvester</i> e extração com <i>Forwarder</i> e <i>Skidder</i> nas três classes de declividade do terreno.....	49
<b>Figura 20.</b> Aceleração média na exposição ocupacional à Vibração de Mãos e Braços (VMB) nas operações de corte e extração em diferentes classes de declividade do terreno.....	52
<b>Figura 21.</b> Tempo de exposição dos membros e articulações corporais do operador de <i>harvester</i> obtidos através do <i>Kinebot</i> nas três classes de declividade do terreno...	55
<b>Figura 22.</b> Posturas típicas adotadas pelo operador <i>harvester</i> .....	56
<b>Figura 23.</b> Tempo de exposição dos membros e articulações corporais do operador de <i>forwarder</i> obtidos através do <i>Kinebot</i> na operação de extração e/ou baldeio nas três classes de declividade do terreno.....	60
<b>Figura 24.</b> Posturas típicas adotadas pelo operador de <i>forwarder</i> na extração de madeira por baldeio.....	62
<b>Figura 25.</b> Tempo de exposição dos membros e articulações corporais do operador de <i>Skidder</i> obtidos através do <i>Kinebot</i> na operação de extração por arraste de madeira nas três classes de declividade do terreno.....	67
<b>Figura 26.</b> Posturas típicas adotadas pelo operador de <i>Skidder</i> na extração por arraste de madeira.....	68
<b>Figura 27.</b> Resultados das funções discriminantes 1 e 2, para as combinações entre máquinas e declividades do terreno, com os respectivos grupos centroides, para o conjunto de todas as variáveis avaliadas.....	79
<b>Figura 28.</b> Resultados das funções discriminantes 1 e 2, para as combinações entre máquinas e declividades do terreno, com os respectivos grupos centroides, para o conjunto de das variáveis ombros e cotovelos.....	81
<b>Figura 29.</b> Resultados das funções discriminantes 1 e 2, para as combinações entre máquinas e declividades, com os respectivos grupos centroides, para as variáveis da região do tronco e pescoço.....	83

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Angulações dos segmentos corpóreos do grupo A e B.....	16
<b>Tabela 2.</b> Resultados e níveis de ação pelo método RULA.....	16
<b>Tabela 3.</b> Características do povoamento florestal estudado.....	20
<b>Tabela 4.</b> Características gerais da população pesquisada.....	21
<b>Tabela 5.</b> Máquinas avaliadas no estudo.....	23
<b>Tabela 6.</b> Número mínimo de amostras para Vibração de Corpo Inteiro (VCI) e Vibração de Mãos e Braços (VMB).....	24
<b>Tabela 7.</b> Número de coleta, quantidade de ciclos e tempos médios de coleta de dados e quantidades de ciclos avaliados nas diferentes classes de declividade do terreno.....	25
<b>Tabela 8.</b> Tempos médios de duração das etapas do ciclo operacional parcial e completo das máquinas nas operações de corte e extração.....	25
<b>Tabela 9.</b> Recomendações da Diretiva 2002/44 CE.....	31
<b>Tabela 10.</b> Elementos parciais do ciclo operacional das máquinas da colheita de madeira.....	34
<b>Tabela 11.</b> Resultados de exposição ocupacional à Vibração de Corpo Inteiro.....	37
<b>Tabela 12.</b> Resultados de exposição ocupacional à Vibração de Mãos e Braços.....	51
<b>Tabela 13.</b> Resultado da análise postural por segmento corporal para a operação de corte com <i>harvester</i> nas três classes de declividade do terreno.....	54
<b>Tabela 14.</b> Percentual de exposição determinado para as horas efetivas de trabalho no corte com <i>harvester</i> .....	57
<b>Tabela 15.</b> Resultado da análise postural por segmento corporal para a operação de extração por baldeio com <i>forwarder</i> nas três classes de declividade do terreno.....	59
<b>Tabela 16.</b> Percentual de exposição determinado para as horas efetivas de trabalho na extração com <i>forwarder</i> .....	63
<b>Tabela 17.</b> Resultado da análise postural por segmento corporal para a operação de extração com <i>skidder</i> nas três classes de declividade do terreno.....	65

<b>Tabela 18.</b> Percentual de exposição determinado para as horas efetivas de trabalho na extração por arraste com <i>skidder</i> .....	69
<b>Tabela 19.</b> Distribuição dos níveis de ação por regiões dos membros superiores do corpo operador durante a execução das operações.....	71
<b>Tabela 20.</b> Classificação da intensidade dos riscos de lesão por segmento corporal para a operação de corte com <i>harvester</i> nas três classes de declividade do terreno.....	73
<b>Tabela 21.</b> Classificação da intensidade dos riscos de lesão por segmento corporal para a operação de extração e/ou baldeio com <i>forwarder</i> nas três classes de declividade do terreno.....	74
<b>Tabela 22.</b> Classificação da intensidade dos riscos de lesão por segmento corporal para a operação de extração com <i>skidder</i> nas três classes de declividade do terreno.....	75
<b>Tabela 23.</b> Resultados da análise de variância multivariada para o conjunto composto por todas as variáveis avaliadas.....	77
<b>Tabela 24.</b> Resultados referentes a porcentagem da variância total explicada pelas funções discriminantes obtidas, relativas aos autovalores encontrados e coeficientes de correlação canônica para cada uma das funções discriminantes encontradas.....	78
<b>Tabela 25.</b> Resultados das correlações canônicas entre as variáveis originais avaliadas e as funções discriminantes obtidas.....	78
<b>Tabela 26.</b> Resultados referentes a porcentagem da variância total explicada pelas funções discriminantes obtidas, relativas aos autovalores encontrados e coeficientes de correlação canônica para cada uma das funções discriminantes encontradas.....	80
<b>Tabela 27.</b> Resultados das correlações canônicas entre as variáveis originais avaliadas e as funções discriminantes obtidas.....	80
<b>Tabela 28.</b> Resultados referentes a porcentagem da variância total explicada pelas funções discriminantes obtidas, relativas aos autovalores encontrados e coeficientes de correlação canônica para cada uma das funções discriminantes encontradas.....	82
<b>Tabela 29.</b> Resultados das correlações canônicas entre as variáveis originais avaliadas e as funções discriminantes obtidas.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABERGO	Associação Brasileira de Ergonomia e Fatores Humanos
IBA	Industria Brasileira de Árvores
aren	Aceleração Resultante de Exposição Normalizada
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CGIH	<i>Conference of Government Industrial Hygienists</i>
CONEP	Comissão Nacional de Ética em Pesquisa
DME	Distúrbio Musculoesquelético
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DORT	Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho
EPI	Equipamento de Proteção Individual
hp	Potência
Hz	Frequência
IBA	Industria Brasileira de Árvores
IEA	Associação Internacional de Ergonomia
IEI	Indicador Ergonômico Integrado
IMC	Índice de Massa Corporal
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LER	Lesões por Esforços Repetitivos
MANOVA	<i>Multivariate analysis of variance</i>
NHO 09	Norma de Higiene ocupacional 09
NHO 10	Norma de Higiene Ocupacional 10
NR 15	Norma regulamentadora nº 15
NR-18	Norma regulamentadora nº 18
OMS	Organização Mundial da Saúde
PCA	Análise de Componentes Principais
PIB	Produto Interno Bruto
REBA	<i>Rapid entire body assessment</i>
RULA	<i>Rapid Upper-Limb Assessment</i>
SPSS	<i>Statistics software</i>
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UNICENTRO	Universidade Estadual do Centro-Oeste
VCI	Vibração de Corpo Inteiro
VDVR	Valor da Dose de Vibração Resultante
VDV	Valor da Dose de Vibração
VMB	Vibração de Mãos e Braços

## RESUMO

O avanço da mecanização nas operações de colheita da madeira resultou em melhorias na capacidade produtiva e no ambiente de trabalho. No entanto, existem alguns riscos ergonômicos em relação à exposição as vibrações e posturas corporais que podem ser agravadas em condições inadequadas de terreno, comprometendo o conforto e a saúde do operador. Objetivou-se nesta pesquisa avaliar os níveis de vibrações e posturas corporais de operadores em máquinas de colheita da madeira em diferentes declividades do terreno. O estudo foi realizado no sul do Brasil, em povoamentos de *Pinus elliottii* submetidos ao corte raso com 41 anos de idade. Foram avaliadas as operações de corte e extração com *harvester*, *forwarder* e *skidder* em três classes de declividade do terreno. Os dados de vibração foram obtidos com um medidor de vibração, instalado nos assentos e *joysticks* das máquinas, conforme as diretrizes da ISO 8041. Os resultados foram comparados com os limites estabelecidos pelas ISO 2631, ISO 5349 e Diretiva 2002/44/CE. A avaliação postural foi realizada por meio de filmagens com uso de câmeras instaladas no interior das máquinas. As imagens foram analisadas no software *Kinebot*® que faz o uso do método RULA, que identifica as angulações das articulações corporais. Por fim, os dados de vibração e postura corporal foram correlacionados por meio de uma MANOVA e análise discriminante. Os resultados mostraram que não houve diferença significativa entre os níveis de vibração em função da declividade do terreno. Os níveis de VCI para o corte com *harvester* foram 0,47, 0,46, 0,48 m/s<sup>2</sup>, estando abaixo do nível de ação, enquanto, para a extração com *forwarder* foram 0,52, 0,55 e 0,59 m/s<sup>2</sup> ficando acima do nível de ação. As maiores vibrações foram obtidas na extração com *skidder* com 1,21, 1,19 e 0,86 m/s<sup>2</sup> nas três classes de declividade do terreno, estando acima dos limites recomendados pela Diretiva Européia. A postura do operador de *harvester* em função das angulações das articulações esteve inadequada na região do pescoço com elevado risco à saúde, seguido pelos ombros e cotovelos, mais especificamente o ombro esquerdo, onde o operador permaneceu 43,6% e 50,2% do tempo de trabalho na declividade entre 10 e 20° com risco “Leve” a “Médio” a saúde, ocasionado pela extensão, flexão e rotação do pescoço e a movimentação dos braços e antebraços no manuseio dos *joysticks*. Na extração com *forwarder* as articulações mais afetadas foram o pescoço devido a extensão e flexão no momento do carregamento e descarregamento da madeira e rotação para a visualização das pilhas de madeira com 6,9% do tempo de exposição com risco “Elevado”, em seguida o ombro esquerdo que esteve 61,6%, 4,2% e o ombro direito com 73,9% e 4,3% do tempo de exposição com risco “Leve” e “Médio” na declividade até 10°. Na extração com *skidder*, o tronco, pescoço e os ombros permaneceram com as articulações em angulações inadequadas em todas as etapas do ciclo operacional, principalmente o ombro direito na declividade entre 10 e 20° com 4,5%, 81,0% e 13,4% do tempo de exposição com risco “Leve”, “Médio” e “Elevado” a saúde do operador. A análise multivariada indicou que o *skidder* foi a máquina com os maiores problemas ergonômicos, especialmente nas menores declividade do terreno em função das maiores velocidades e quantidades de ciclos operacionais. Foi possível concluir que, independentemente das condições do terreno, os operadores de máquinas de colheita da madeira estão expostos, em alguns momentos, a níveis de vibração e posturas corporais inadequadas que podem comprometer a sua segurança e saúde.

**Palavras-chave:** Máquinas florestais; vibrações mecânicas, distúrbios músculo-esqueléticos; ergonomia.

## ABSTRACT

The advance of mechanization in timber harvesting operations has resulted in improvements in production capacity and the working environment. However, there are some ergonomic risks in relation to exposure to vibrations and body postures that can be aggravated in unsuitable terrain conditions, compromising the operator's comfort and health. The aim of this study was to assess the vibration levels and body postures of operators of wood harvesting machines on different slopes. The study was carried out in southern Brazil, in *Pinus elliottii* stands subjected to clear felling at 41 years of age. Felling and extraction operations with harvester, forwarder and skidder were evaluated in three terrain slope classes. The vibration data was obtained with a vibration meter installed on the seats and joysticks of the machines, in accordance with the ISO 8041 guidelines. The results were compared with the limits established by ISO 2631, ISO 5349 and Directive 2002/44/EC. The postural assessment was carried out by filming using cameras installed inside the machines. The images were analyzed using Kinebot® software, which uses the RULA method to identify the angles of the body joints. Finally, the vibration and body posture data were correlated using a MANOVA and discriminant analysis. The results showed that there was no significant difference between vibration levels as a function of terrain slope. The WBV levels for harvesting with a harvester were 0.47, 0.46 and 0.48 m.s<sup>2</sup>, below the action level, while for extraction with a forwarder they were 0.52, 0.55 and 0.59 m.s<sup>2</sup>, above the action level. The highest vibrations were obtained when harvesting with a skidder, with 1.21, 1.19 and 0.86 m.s<sup>2</sup>, in the three terrain slope classes, being above the limits recommended by the European Directive. The harvester operator's posture due to joint angles was inadequate in the neck region with a high risk to health, followed by the shoulders and elbows, more specifically the left shoulder, where the operator spent 43.6% and 50.2% of the working time on the slope between 10 and 20° with a "Slight" to "Medium" risk to health, caused by the extension, flexion and rotation of the neck and the movement of the arms and forearms when handling the joysticks. In forwarder logging, the joints most affected were the neck due to extension and flexion when loading and unloading the wood and rotation when viewing the wood piles, with 6.9% of the exposure time posing a "High" risk, followed by the left shoulder, which accounted for 61.6% and 4.2%, and the right shoulder, with 73.9% and 4.3% of the exposure time posing a 'Slight' and "Medium" risk on slopes up to 10°. In skidder extraction, the torso, neck and shoulders remained at inadequate angles at all stages of the operating cycle, especially the right shoulder on slopes between 10 and 20°, with 4.5%, 81.0% and 13.4% of the exposure time posing a "Slight", 'Medium' and "High" risk to the operator's health. The multivariate analysis indicated that the skidder was the machine with the greatest ergonomic problems, especially on the lower slopes due to the higher speeds and number of operating cycles. It was concluded that, regardless of terrain conditions, operators of wood harvesting machines are sometimes exposed to vibration levels and inappropriate body postures that can compromise their safety and health.

**Keywords:** Forestry machines; mechanical vibrations; musculoskeletal disorders; ergonomics.

## 1. INTRODUÇÃO

A colheita da madeira representa a etapa final do processo produtivo florestal, destacando-se sua relevância no abastecimento das indústrias e no aspecto econômico, respondendo por mais de 50% dos custos totais da madeira (Machado, 2014). Além disso, trata-se de uma atividade de elevada complexidade, envolvendo diversos aspectos operacionais que influenciam diretamente na execução das operações, com destaque a potenciais riscos ergonômicos que podem afetar na segurança e saúde dos operadores de máquinas florestais.

A partir da década de 1990, a mecanização nas atividades de colheita de madeira obteve um avanço significativo, impulsionado pela facilitação das importações de equipamentos tecnológicos de elevado desempenho de países de maior tradição florestal. O avanço da mecanização na colheita de madeira em florestas plantadas propiciou mudanças significativas nos métodos e nas formas de execução do trabalho em nosso país, resultando no aumento da produtividade, no aprimoramento dos procedimentos operacionais e na melhoria das condições de conforto dos trabalhadores pela eliminação do trabalho fisicamente exigente (Oliveira et al., 2021; Sláma et al., 2023).

Entretanto, apesar dos notáveis progressos tecnológicos nas máquinas de colheita da madeira em termos de recursos ergonômicos, as atividades ainda estão sujeitas a alguns riscos ergonômicos, principalmente em relação aos elevados níveis de vibração, posturas corporais inadequadas e movimentos repetitivos que podem ocorrer em algumas condições operacionais. Tais riscos ergonômicos não somente geram um desconforto considerável aos trabalhadores durante a execução do trabalho, como também representam em grave ameaça à saúde, estando diretamente associados ao desenvolvimento de dores, distúrbios musculoesqueléticos, fadiga crônica e outras patologias relacionadas ao trabalho (Adam et al., 2017; Burström, et al., 2014).

Os riscos ergonômicos na colheita de madeira surgiram devido às especificidades do trabalho, onde normalmente as operações são executadas em ritmo acelerado e em condições operacionais inadequadas em termos de declividade do terreno, características da floresta e distâncias de extração da madeira, acarretando em maiores dificuldades para a realização das operações mecanizadas,

com conseqüente redução da produtividade e maior exposição dos operadores aos problemas de segurança e saúde.

E neste contexto, surge a necessidade de realização de estudos com maior aprofundamento acerca dos riscos ergonômicos existentes nas máquinas e operações de colheita da madeira em terrenos com diferentes níveis de declividade, uma vez que, as irregularidades do terreno e a capacidade de suporte do solo são os elementos que mais contribuem para a exposição à vibração (Horn et al., 2007; Strandgard et al., 2014; Visser e Berkett, 2015). Além disso, fatores relacionados a condição do terreno, a velocidade da máquina, distribuição de massa, posição e as características do assento, também impactam a exposição às vibrações (Tiemessen et al., 2007), e por fim, o trabalho estacionário, a má postura, a repetitividade, intensificadas nessas condições de trabalho, aumentam o risco de Lesões por Esforços Repetitivos e Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (LER-DORT).

E todas essas questões estão alinhadas com as tendências atuais da ergonomia e da segurança no trabalho, destacando a necessidade de incorporar tecnologias que minimizem tais riscos, promovendo, assim, um ambiente de trabalho mais seguro e saudável. Além disso, trata-se de um problema cada vez mais preocupante para os trabalhadores, as empresas e as instituições de saúde do país, em função do aumento das taxas de absenteísmo, rotatividade no trabalho e elevados custos econômicos e sociais.

Portanto, considerando o avanço das operações mecanizadas de colheita da madeira em condições adversas de declividade do terreno e o elevado contingente de trabalhadores envolvidos nas empresas florestais brasileiras, a realização de estudos acerca de um diagnóstico aprofundado dos potenciais riscos ergonômicos que os operadores de máquinas estão expostos é de fundamental importância para o sucesso do empreendimento florestal. A partir dos resultados obtidos, os gestores florestais poderão estabelecer ações que visem uma melhor organização do trabalho e nos procedimentos operacionais, bem como propor melhorias nos projetos das máquinas, possibilitando trazer um maior conforto e saúde dos trabalhadores, com conseqüente ganhos de produtividade e redução de custos para a empresa florestal.

## 2. HIPÓTESES

Diante do atual cenário da colheita de madeira em florestas plantadas com uso de máquinas de elevada tecnologia embarcada, do avanço da mecanização das operações em áreas de elevada declividade do terreno e dos potenciais riscos ergonômicos que estão expostos os operadores das máquinas, têm-se as seguintes hipóteses que motivaram a execução desta pesquisa:

- a) Os operadores no interior dos postos de trabalho das máquinas estariam expostos às vibrações de mãos e braços e de corpo inteiro e adotando posturas corporais adequadas durante a execução das operações de colheita da madeira nas diferentes condições de declividade do terreno.
- b) Existe uma correlação entre os níveis de vibração e as posturas corporais adotadas pelos operadores na execução das operações de colheita da madeira, sendo que estariam sendo potencializados em função da declividade do terreno.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral**

Avaliar os riscos ergonômicos em relação às vibrações e posturas corporais em que estão expostos os operadores de máquinas na colheita da madeira em função da declividade do terreno, possibilitando identificar possíveis problemas e propor soluções ergonômicas para a melhoria das condições de conforto, saúde, segurança e produtividade.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar os níveis de exposição dos operadores às vibrações de mãos e braços e de corpo inteiro nos postos de trabalho das máquinas na execução das operações de colheita da madeira;
- b) Avaliar as posturas corporais adotadas pelos operadores nos postos de trabalho das máquinas na execução das operações de colheita da madeira; e
- c) Correlacionar as posturas corporais adotadas pelos operadores com os níveis de vibração nas diferentes condições de declividade do terreno.

## **4. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **4.1. Importância do setor florestal brasileiro**

O setor de florestas plantadas é de fundamental relevância para a sociedade brasileira, colaborando com os aspectos econômicos, sociais e ambientais, ou seja, responsável por uma parcela importante na geração de produtos, tributos, divisas, empregos e renda, além de ser um setor estratégico no fornecimento de matéria-prima para o desenvolvimento da indústria nacional de base florestal. Atualmente, a área de florestas plantadas é de aproximadamente 10,2 milhões de hectares, sendo 76 % de plantios de eucalipto, 19% de pinus e 5% com plantios de outras espécies (IBÁ, 2024).

Do ponto de vista econômico, o setor de florestas plantadas tem crescido anualmente, e mais uma vez, demonstrou sua resistência e importância para o Brasil, sustentando seu padrão histórico de crescimento acima do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. O valor bruto da produção do setor de árvores plantadas alcançou R\$ 202,6 bilhões em 2023, apresentando um crescimento de 3,2% nos últimos 10 anos, ou seja, a cadeia produtiva florestal representou 0,9% do PIB brasileiro, alcançando um marco de valor adicionado ao PIB. Vale ressaltar que as empresas do segmento geraram R\$ 24 bilhões em tributos federais, estaduais e municipais no país.

Em relação ao aspecto social, o setor florestal tem promovido a geração de empregos e renda, fixando populações no campo e auxiliando na melhoria da qualidade de vida nas áreas rurais. Além disso, as atividades contribuem para a geração de mais de 690 mil empregos diretos e 2,0 milhões de postos de trabalho indiretos, totalizando 2,69 milhões de empregos.

Por fim, em relação ao aspecto ambiental, o setor florestal também merece destaque contribuindo para a conservação da natureza e o equilíbrio do ambiente na promoção da biodiversidade, na restauração e proteção de áreas degradadas, na preservação dos cursos hídricos, edáficos, qualidade do ar e assimilação de carbono.

### **4.2. Colheita de madeira**

A colheita de madeira é definida como um conjunto de operações executadas no interior do povoamento florestal, com o objetivo de realizar a derrubada e a remoção da madeira para o transporte final, fazendo uso de técnicas e padrões

previamente estabelecidos, transformando-a em produto final (Machado, 2014). Inclui as etapas de corte (derrubada, desgalhamento, traçamento, descascamento, destopamento e pré-extração); e extração (baldeio, arraste ou aéreo).

As atividades da colheita de madeira são influenciadas por diversos fatores, tais como: características do povoamento (espécie, idade, volume total, volume individual das árvores, diâmetro e comprimento da madeira, espaçamento, qualidade do plantio, etc.), características do ambiente físico (tamanho das áreas, relevo, solo, clima) e características operacionais (finalidade da madeira, regime de manejo, tipos de máquinas e equipamentos, nível de treinamento dos operadores, rede viária e logística, etc.), conforme citado por Malinovski et al. (2014) e Machado et al. (2014).

A colheita da madeira pode ser classificada em diferentes sistemas, de acordo com a forma da madeira na fase de extração, sendo os mais utilizados no Brasil:

a) **Sistema de Toras Curtas (*cut-to-length*)**: Neste sistema de colheita da madeira, as árvores são derrubadas e processadas no interior do talhão, sendo em seguida, a madeira extraída para a margem da estrada ou pátio intermediário em toras com até 6 m de comprimento. É um sistema caracterizado pelo uso de duas máquinas: *harvester*, que realiza as operações de corte (derrubada, desgalhamento, traçamento, enleiramento e descascamento); e *forwarder*, responsável pela extração da madeira para a margem do talhão. Trata-se de um sistema de colheita da madeira amplamente empregado nos regimes de manejo do povoamento por desbaste ou corte raso final, favorecido em ambos os casos pela maior mobilidade das máquinas (Malinovski et al., 2006). Os aspectos mais relevantes deste sistema é a possibilidade de realização do descascamento da madeira no campo, a aplicação em florestas submetidas ao desbaste e na execução de blocos dispersos e em áreas declivosas. Trata-se ainda de um sistema de menor impacto ao meio ambiente em relação à compactação do solo e exportação de nutrientes. De acordo com Machado (2014) é um sistema indicado para uso em povoamentos com árvores com volume individual inferior a 0,5 m<sup>3</sup>, pois facilita o manuseio das toras. A maior restrição deste sistema refere-se aos maiores custos operacionais devido ao manuseio excessivo da madeira e a limitação do aproveitamento dos resíduos da colheita de madeira como fonte energética.

- b) **Toras longas ou fuste (*Tree-length*):** Neste sistema, as árvores são derrubadas e semiprocessadas, ou seja, desganhada e destopada no interior do talhão, sendo em seguida, o fuste arrastado para a margem do talhão, carreador ou pátio intermediário, onde são processadas em toras para o posterior transporte final (Machado, 2014). Os aspectos mais relevantes deste sistema é a permanência dos resíduos no interior do talhão, evitando a exportação de nutrientes; o melhor desempenho das máquinas em relevos de maior declividade pela facilidade do arraste do fuste (Machado, 2014). No entanto, o mesmo autor menciona que o sistema exige um planejamento mais criterioso, a fim de evitar pontos de estrangulamento, perdas de eficiência, produtividade das máquinas; e por fim, a dificuldade no aproveitamento da biomassa residual como fonte energética.
- c) **Sistema de Árvores Inteiras (*full tree*):** Neste sistema de colheita da madeira, as árvores são derrubadas no interior do talhão, e em seguida, arrastadas até a margem do talhão onde é realizado o processamento, ou seja, o desganhamento, destopamento, traçamento e empilhamento (Machado, 2014). É composto basicamente pelas seguintes máquinas, *feller buncher*, responsável pela derrubada e empilhamento das árvores, *skidder* pela extração por arraste dos feixes de árvores para a margem do talhão, e o *harvester processador*, pelo processamento da madeira em toras para o posterior transporte final. Os aspectos mais relevantes deste sistema é a possibilidade do aproveitamento da biomassa residual para fins energéticos que permanece concentrada na margem do talhão e a possibilidade de produção de toras com diferentes sortimentos. Vale ainda destacar a possibilidade de deixar a área livre de biomassa facilitando o preparo do solo e a maior, produtividade das máquinas pela facilidade no manuseio da madeira. Como restrição ao uso deste sistema destaca-se a maior possibilidade de ocorrência de impactos ambientais, em especial à compactação do solo; e a exposição do solo a processos erosivos e perda de nutrientes pela remoção da biomassa residual da colheita de madeira (FAO, 1977).

Atualmente, as máquinas empregadas na colheita da madeira estão cada vez mais automatizadas, incorporando controles modernos e robustos; cabines giratórias com nivelamento automático; sistemas inteligentes de controle de movimentos da grua e lança; automação de comandos dos cabeçotes; *joysticks* mais intuitivos; sistemas

ergonomicamente aprimorados; bem como o uso da telemetria possibilitando a obtenção de dados operacionais instantâneos para a tomada de decisões estratégicas e rápidas para alcançar os objetivos de aumento de produtividade, redução de custos, ganhos de qualidade e melhorias nos aspectos de segurança e saúde dos trabalhadores (Santos et al., 2020; Marques et al., 2022; Prates et al., 2023).

#### **4.2.1. Colheita de madeira em áreas declivosas**

As limitações para a implementação da mecanização nas operações de colheita da madeira em áreas declivosas despertam o interesse na realização de pesquisas que possam melhor e otimizar as potencialidades para a maior produtividade das máquinas. Conforme Thees et al. (2011), a mecanização em terrenos declivosos exige maior investimento técnico-científico, assim como vem ocorrendo em países europeus, onde adaptações, como: *Walking machine*, guinchos de tração e teleféricos, são constantemente utilizados na colheita da madeira. O autor ainda destaca que a produtividade da floresta, em geral, nestas condições de terreno possui menor rendimento quando comparado aos relevos planos, fazendo com que o planejamento para as implementações nessas áreas seja ainda mais criterioso.

Atualmente, as operações de colheita da madeira em áreas declivosas, principalmente nas grandes empresas florestais vem sendo realizadas por meio de métodos mecanizados. Tal fato deve-se à grande evolução da mecanização das operações aplicada para essas condições de áreas declivosas. Dentre as tecnologias disponíveis, cita-se o uso de máquinas com nivelamento automático de cabine; sistemas de ancoragem por meio de cabo de tração auxiliar ou uso de máquinas estacionárias; sistemas de cabos aéreos integrados, permitindo o acesso das máquinas nestas áreas com desempenho satisfatório das máquinas e segurança aos trabalhadores. No entanto, essas opções são mais caras e muito mais perigosas em relação às operações de colheita de madeira mecanizada, uma vez que, as novas máquinas disponíveis atualmente podem frequentemente exceder os limites superiores de declividade estabelecidos em códigos de segurança em muitos países ao redor do mundo (Visser, Berkett, 2015; Engelbrecht et al. 2017).

Neste cenário, destaca-se que o operador tem papel fundamental em todo o processo produtivo, tendo sua habilidade refletida diretamente no rendimento operacional. Por isso, para a operação de máquinas em áreas declivosas, comumente

são selecionados os operadores mais experientes e habilidosos, reduzindo assim, o risco em relação a possíveis acidentes e mantendo uma boa produtividade (Heinimann, 1999; Marshall, 2012). Apesar disso, Tiemessen et al. (2007), afirmam que nestas condições operacionais o operador fica exposto a diversos riscos ergonômicos durante a atividade, tais como: vibrações e posturas inadequadas.

Perante o exposto, se faz necessário uma avaliação ergonômica dos operadores nos postos de trabalho das máquinas de colheita da madeira atuando em áreas declivosas, devido aos desafios e riscos impostos por essas condições de terreno, que ao longo do tempo, podem comprometer a saúde e segurança do trabalhador. Além disso, tais estudos poderão auxiliar no desenvolvimento dos projetos de máquinas com cabines ergonômicas modernas, confortáveis, diminuindo o esforço e fadiga ao operador.

### **4.3. Ergonomia**

A ergonomia é proveniente do grego *Ergon* (trabalho) e *nomos* (normas, regras e leis). Trata-se de uma ciência orientada para abordagem sistêmica dos aspectos da atividade humana. O profissional da área estuda as atividades do trabalho com abordagem holística do campo de ação da ciência, seja nos aspectos físicos e cognitivos, como sociais, organizacionais, ambientais (Grandjean, 1998). De acordo com a Associação Brasileira de Ergonomia e Fatores Humanos (ABERGO, 2024), a ergonomia, também conhecida como fatores humanos é uma disciplina científica dedicada ao estudo das interações entre os seres humanos e os diversos componentes de um sistema de trabalho, aplicando teorias, princípios, dados e métodos com o objetivo de projetar soluções que promovam o bem-estar humano e melhore o desempenho global do sistema produtivo.

Desse modo, a ergonomia tem como finalidade estudar os elementos que influenciam no desempenho do sistema produtivo, buscando reduzir a fadiga, o estresse, os erros e os acidentes, promovendo maior segurança, saúde e satisfação aos trabalhadores (Iida; Guimarães, 2016). A ergonomia abrange cinco áreas de estudo aplicadas ao trabalho: Organização do trabalho pesado; Biomecânica aplicada ao trabalho; Prevenção da fadiga no trabalho; Prevenção do erro humano; e Adequação ergonômica do posto de trabalho (Couto, 2002), podendo ainda ser classificada em: Ergonomia física, quando está relacionada às características da

anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica; Ergonomia cognitiva, quando se refere aos processos mentais, tais como: percepção, memória, raciocínio e resposta motora que afetam as interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema produtivo; e Ergonomia organizacional, quando se refere à otimização dos sistemas sociotécnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e processos (IEA, 2019).

No Brasil, a Norma Regulamentadora nº 17 (NR 17) do Ministério do Trabalho e Emprego é a principal diretriz que trata da ergonomia. Essa norma tem por objetivo estabelecer os parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a propiciar o máximo de conforto, segurança e desempenho (Brasil, 1978). Entretanto, vale ressaltar que, apesar de haver uma norma específica para essa finalidade, a temática florestal ainda é pouco discutida.

Além do aspecto legal, a avaliação ergonômica permite estabelecer as melhores condições de trabalho ao ser humano, com o objetivo de minimizar e prevenir os riscos apresentados na atividade (Iida; Guimarães, 2016). Em um ambiente que considera os fatores de riscos ergonômicos, as características do operador devem ser consideradas em conjunto com as características mecânicas do projeto das máquinas, para que, assim, se interajam mutuamente (Schettino et al., 2017).

Desse modo, as análises ergonômicas são imprescindíveis na busca da sustentabilidade. Por tanto, a colheita de madeira compõe um grupo de atividades a partir do qual essas análises têm sido bastante evidenciadas (Minette et al., 2018; Santos, et al., 2014; Schettino et al., 2016). No entanto, apesar da aquisição de máquinas sofisticadas, vale ressaltar que tal fato, não isenta os operadores de riscos, como por exemplo a exposição ocupacional a vibração, desconforto postural, dificuldades de visualização e movimentos repetitivos nos postos de trabalhos das máquinas florestais.

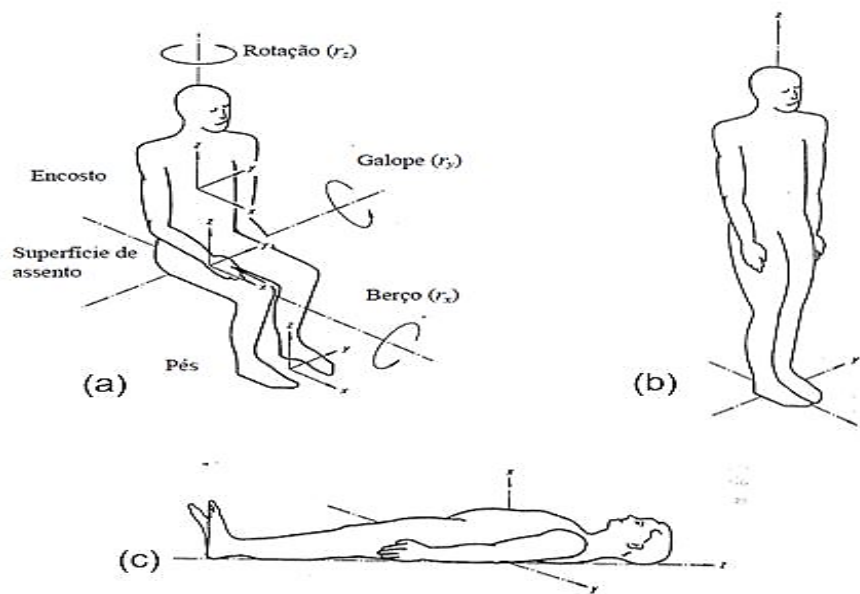
#### **4.3.1. Vibração mecânica**

A vibração é qualquer movimento oscilatório que o corpo ou parte dele executa em torno de um ponto fixo, podendo ter padrão regular ou irregular, interferindo na realização de tarefas, além de causar lesões e doenças. É caracterizada por três variáveis: frequência, intensidade do deslocamento ou aceleração máxima sofrida

pelo corpo e direção do movimento (Iida; Guimarães, 2016). As vibrações podem ser de corpo inteiro (VCI) ou vibrações de mãos e os braços (VMB). A VCI acontece quando há vibração dos pés (posição em pé) ou das nádegas e tronco (posição sentada), enquanto a VMB ocorre quando há vibração das mãos, punhos e braços, normalmente quando do uso de ferramentas elétricas e pneumáticas portáteis, como furadeiras e motosserras (Sherwin et al., 2004; Dul e Weerdmeester, 2004).

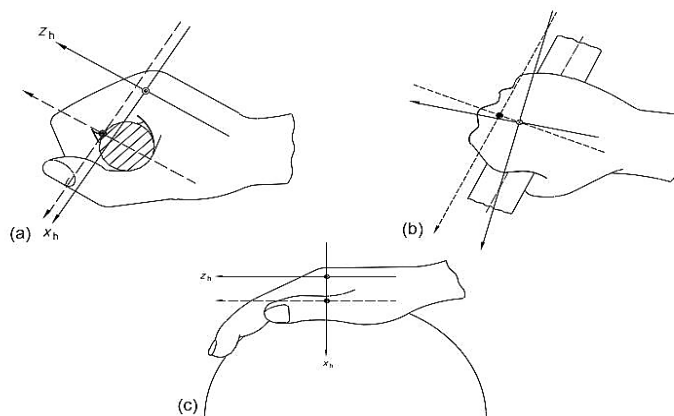
Os efeitos das vibrações sobre o corpo humano podem ser extremamente graves, podendo prejudicar permanentemente alguns órgãos. Dependendo de sua frequência, as vibrações podem originar males fisiológicos e psicológicos, como a falta de concentração, bem como a redução da percepção visual, degeneração do tecido vascular e nervoso, como no caso da exposição a vibração de mãos e braços nos operadores de motosserra, causando perda da capacidade manipulativa e o tato das mãos, doenças cardiovasculares, dores agudas, entre outros. Além do mais, a exposição permanente pode causar lesões na coluna vertebral, desordem gastrointestinal e perda do controle muscular de partes do corpo (Burström et al., 2014; Iida; Guimarães, 2016).

No tocante às diretrizes que tratam dos limites e recomendações da exposição à vibração de corpo inteiro estão descritas em normativas internacionais, que servem como referência para a legislação nacional. A Norma de Higiene Ocupacional (NHO 09), tem por objetivo estabelecer os critérios e procedimentos para a avaliação da VCI que implique possibilidade de ocorrência de problemas diversos à saúde do trabalhador, entre os quais aqueles relacionados à coluna vertebral. A norma define a vibração em três variáveis: frequência (Hz), aceleração máxima sofrida pelo corpo ( $m/s^2$ ) e direção do movimento, que é dada nos eixos espaciais x (antero-posterior); y (lateral; direita-esquerda); e z (longitudinal; pés-cabeça) conforme demonstrados na Figura 1.



**Figura 1.** Eixos de direção adotados para medição da vibração de corpo inteiro. Sendo: Posição sentada a), b) Posição em pé b), c) Posição deitada c). Fonte: adaptada de ISO 2631:1997.

Por outro lado, a Norma de Higiene Ocupacional 10 (NHO 10), trata-se da análise da exposição ocupacional a vibrações de mãos e braços (VMB). As medições da vibração transmitida às mãos devem ser feitas segundo as três direções de um sistema de coordenadas ortogonais (x, y e z) de forma simultânea, utilizando-se acelerômetro do tipo triaxial (Figura 2).



**Figura 2.** Eixos de direção adotados para medição da vibração de mãos e braços. Sendo: Posição de "pegada", nesta posição a,b), a mão adota uma pegada padronizada em uma barra cilíndrica; Posição de "palma plana", nesta posição, a mão pressiona para baixo uma esfera c). Fonte: adaptada de ISO 5349 -1:2001).

A Norma estabelece ainda os critérios para a mensuração das vibrações, abrangendo a frequência e a intensidade transmitidas aos membros superiores, bem como os limites de exposição. Também fornece orientações sobre a utilização de equipamentos de proteção, a exigência de monitoramento regular da exposição e a implementação de ações preventivas, tais como os intervalos e a seleção de ferramentas que emitam menos vibrações. Diante disso, o objetivo principal da NHO 10 é assegurar a saúde e a segurança dos trabalhadores expostos às vibrações no ambiente de trabalho, prevenindo enfermidades, como por exemplo, a síndrome de vibração mão-braço (HAVS), que pode causar danos irreversíveis à saúde do trabalhador.

Ademais, a Norma Regulamentadora nº 15, estabelecida no Brasil pelo Ministério do Trabalho para avaliação quantitativa da VCI e da VMB, regulamenta os procedimentos técnicos referentes a avaliação da exposição, utilizando-se como referências legais as normativas internacionais ISO-2631 (1997) - *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration*; ISO 5349-1 (2001) - *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements* e ISO-8041 (2005) - *Human response to vibration – Measuring instrumentation*.

Além das normas citadas anteriormente, a Diretiva 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002, também trata da proteção dos trabalhadores contra os riscos relacionados à exposição às vibrações no ambiente de trabalho, especificamente a VMB e a VCI, pois a mesma estabelece prescrições mínimas em matéria de proteção dos trabalhadores contra os riscos para a sua segurança e saúde resultantes ou susceptíveis da exposição a vibrações mecânicas. Desse modo, essa diretiva descreve os objetivos, o âmbito de aplicação e as principais definições, além de fornecer valores-limite de exposição e valores de exposição que desencadeiam a ação, bem como a determinação e avaliação dos riscos e as disposições com vista a evitar ou reduzir os níveis de exposição.

Dentro da colheita da madeira mecanizada, existem diversos estudos relacionados a exposição ocupacional à vibração. Almeida et al. (2015) avaliando a exposição ocupacional à VCI em *feller buncher*, *skidder* e garra traçadora, observou-se que níveis de exposição estavam acima dos parâmetros recomendados pelas normas vigentes, com 1,12 m/s<sup>2</sup> no *feller buncher*, 1,95 m/s<sup>2</sup> no *skidder*, e 0,99 m/s<sup>2</sup>

na garra traçadora, enquanto o limite para o nível de ação era de  $0,5 \text{ m/s}^2$  e de exposição de  $1,15 \text{ m/s}^2$ .

Staněk et al. (2022), ao avaliar a operação de corte com *harvester*, conforme os requisitos da Directiva Europeia 2002/44/CE, durante as etapas do ciclo operacional, verificou maiores níveis de vibração durante os momentos de deslocamento da máquina e na busca e corte das árvores, que são etapas de constantes movimentação da máquina no interior do talhão, enquanto que as demais etapas (corte e processamento), não apresentaram riscos à saúde do operador. Já Martins e Oliveira (2019) ao avaliar a vibração de corpo inteiro em *harvesters* de esteiras e pneus na operação de desbaste em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos ao primeiro desbaste, verificaram que os níveis de vibração nos postos de trabalho em ambas as máquinas estavam em condições de conformidade com a NHO 09, porém, sendo recomendada a adoção de medidas preventivas a fim de reduzir a *aren* e o VDVR para valor abaixo do nível de ação proposto. Vale ressaltar que os valores obtidos para a VCI neste estudo foram em condições de relevo plano, podendo os resultados em condições de relevo declivoso ultrapassar o nível de ação proposto pela norma.

Lima et al. (2023), ao avaliar o *grapple-skidder* em diferentes tempos de medição verificaram que, a máquina em um tempo mais curto de medição, obteve valor de aceleração ponderada abaixo do nível de ação sugerido pela norma ( $0,417 \text{ m/s}^2$ ). No entanto, quando avaliou durante toda a jornada de trabalho, o resultado foi superior ( $0,696 \text{ m/s}^2$ ) ficando acima do nível de ação estabelecido pela norma. O VDV para esta máquina ultrapassou o limite de exposição em todos os tratamentos, sendo mais crítico quando a avaliação considerou toda a jornada de trabalho ( $30,4 \text{ m/s}^{-1,75}$ ). E mesmo em condições de terreno regular, o VDV foi elevado destacando dessa maneira os picos de vibrações, ocasionado pelas condições do terreno, ressaltando a necessidade de estudos em relevo irregulares afim de conhecer o comportamento da vibração nas mais diferentes condições operacionais.

#### **4.3.2. Postura corporal**

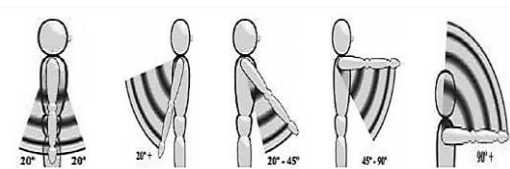







A avaliação postural em postos de trabalho de máquinas florestais diz respeito à avaliação do posicionamento relativo de partes do corpo, especialmente a cabeça, o tronco e os membros superiores, com o objetivo de sugerir posturas apropriadas

para a realização do trabalho com maior conforto e atenuação dos riscos de lesões musculoesqueléticas (Iida; Guimarães, 2016). A postura não afeta diretamente o surgimento de doenças musculoesqueléticas, contudo, a longo prazo, pode prejudicar a saúde dos trabalhadores.

Os diagnósticos de problemas posturais no trabalho são realizados por meio de métodos de avaliação postural, que são importantes ferramentas que auxiliam na identificação e resolução dos problemas. Por se tratar de um trabalho que exige maior utilização dos membros superiores no posto de trabalho de máquinas de colheita da madeira, um método recomendado de avaliação postural é o *Rapid Upper-Limb Assessment* (RULA) ou Avaliação Rápida dos Membros Superiores (McAtamney, Corlett, 1993). Por meio desta ferramenta pode ser avaliado o trabalho muscular de forma estática, as forças aplicadas nos segmentos do corpo humano e o reconhecimento das angulações dos movimentos nos diferentes membros do corpo, além de abranger análise de repetitividade e manuseio de cargas.

O método RULA foi desenvolvido para o uso em investigações ergonômicas de locais de trabalho, onde foram reportadas doenças dos membros superiores ligadas ao trabalho. É uma análise rápida, tratando-se de um método simples de levantamento de informações com fins na investigação ergonômica nos postos de trabalho que possuem potencial causador de desordens musculoesqueléticas (McAtamney; Corlett, 1993). Nas análises são obtidas as pontuações para cada segmento corpóreo dos grupos A (braços, antebraços, punhos e rotação dos punhos), e B (pescoço, tronco e pernas) e a avaliação de risco é realizada a partir de uma observação sistemática dos ciclos de trabalho, pontuando as posturas, onde cada fator avaliado recebe uma pontuação, cujos resultados dos grupos A e B serão cruzados (Tabela 1). Após a obtenção dos valores para os grupos A e B, avalia-se o uso dos músculos e a força/carga suportada. Com os valores finais obtidos para o grupo A e grupo B, os mesmos são cruzados através da tabela de pontuação C, que determina a pontuação final para a atividade e assim através do escore final é possível interpretar os resultados e qualificar o nível de risco da atividade (Tabela 2).

**Tabela 1.** Angulações dos segmentos corpóreos do grupo A e B.

Grupo B		Grupo B	
Braço		Pescoço	
 <p>Extensão / Flexão    Extensão [+2]    Flexão [+2]    Flexão [+3]    Flexão [+4]</p> <p>+1 Abdução / +1 Ombro sobre-elevado / -1 Braço Apoiado</p>		 <p>+1 se o Antebraço cruzar o plano sagital do tronco ou realizar operações exteriores ao tronco</p>  <p>+1 Flexão lateral extrema    +1 Rotação Extrema</p> <p>+1 se o pulso está dobrado em relação ao eixo</p>	
Antebraço		Tronco	
 <p>Extensão / Flexão [+1]    Extensão [+2]    Flexão [+2]    Flexão [+3]</p> <p>+1 se o Antebraço cruzar o plano sagital do tronco ou realizar operações exteriores ao tronco</p>		 <p>+1 Flexão lateral extrema    +1 Rotação Extrema</p>	
Pulso		Pernas	
 <p>Extensão / Flexão [+1]    Extensão [+2]    Flexão [+2/3]    Flexão [+2]</p> <p>+1 se o Antebraço cruzar o plano sagital do tronco ou realizar operações exteriores ao tronco</p>  <p>Rotação Média [+1]    Rotação Extrema [+2]</p> <p>+1 se o pulso está dobrado em relação ao eixo</p>		 <p>+1 Em pé com o peso distribuído em ambas as pernas e com espaço para modificar posição    +2 Pernas e pés mal apoiados e peso mal distribuído, em posição sentado ou em pé</p> <p>+1 Sentado com pés bem apoiados e o peso bem distribuído</p>	

Fonte: Adaptado de McAtamney e Corlett (1993).

**Tabela 2.** Resultados e níveis de ação pelo método RULA.

Score	Nível de ação	Diagnóstico
1 ou 2	1	Postura aceitável se não for mantida ou repetida por longos períodos.
3 ou 4	2	Necessárias mais investigações e possível necessidade de mudanças.
5 ou 6	3	Necessárias investigações e mudanças rapidamente.
7 ou mais	4	Necessárias investigações e mudanças imediatas

Fonte: Adaptado de McAtamney e Corlett (1993).

Gerasimov e Sokolov (2014), afirmam que os operadores de tratores florestais normalmente estão expostos a posturas impróprias e perigosas, podendo causar Distúrbios Musculoesqueléticos (DME), que são doenças que impactam músculos,

tendões, ligamentos, articulações, nervos e discos vertebrais, resultando em dor e diminuição da funcionalidade física do corpo humano (Pinho *et al.*, 2013; Zahra *et al.*, 2022). Tais posturas adotadas no posto de trabalho dessas máquinas estão intrinsecamente ligadas à configuração ergonômica das mesmas, à organização do trabalho e à permanência prolongada em uma posição sentada (Lynch *et al.*, 2014; Becerra *et al.*, 2021). E quando essas posturas são mantidas por um período prolongado, podem resultar em tensões musculares, cansaço e dores intensas no grupo de músculos envolvidos na manutenção dessas posturas (Phairah *et al.*, 2016; Mederski *et al.*, de 2018).

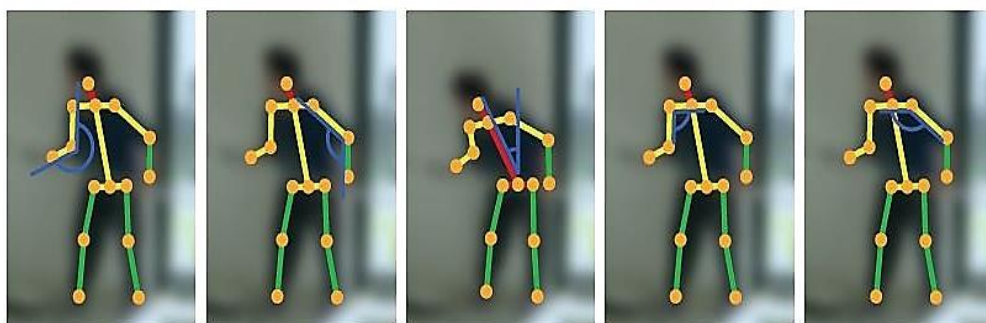
No estudo sobre o desgaste de pinos utilizando *harvester* de pneus e esteiras, Martins *et al.* (2020) notaram que o *design* da máquina de esteira resultou em uma maior variação postural do operador, com maior inclinação para a frente e para o lado esquerdo, afetando a sua visibilidade. Paini *et al.* (2020) avaliando a extração de madeira com *skidder*, verificou que as posturas habituais dos operadores apresentavam perigos ergonômicos, especialmente durante o transporte da madeira. Já na derrubada com *feller buncher*, Paini *et al.* (2016) observou que os operadores mantinham apenas uma postura típica, que pode ser nociva à saúde devido à diminuição do relaxamento dos músculos do corpo.

Diante do exposto, ao avaliar a postura corporal em postos de trabalho de máquinas da colheita de madeira, é crucial levar em conta diversos fatores que afetam diretamente a dinâmica do trabalho, tais como o tipo de operação, os sistemas de colheita da madeira, as particularidades da floresta, a inclinação do terreno, entre outros fatores que podem intensificar a exigência de posturas forçadas e inadequadas.

#### **4.3.3. Software Kinebot®**

O *Kinebot*® ([www.kinebot.com.br](http://www.kinebot.com.br)) é uma tecnologia que trabalha especialmente com avaliação de cada movimento humano, por meio da filmagem e do reconhecimento digital utilizando algoritmo de inteligência artificial. Possui uma capacidade de análise superior a capacidade observacional humana/manual, pois trabalha a 30 quadros por segundo, ou seja, o ciclo de trabalho é avaliado 30 vezes a cada segundo, gerando um volume de informações e de detalhes extremamente superior aos métodos utilizados atualmente (Klein, 2023).

A ferramenta realiza análises precisas de ângulos articulares durante o movimento, utilizando técnicas como *Rapid Upperlimb Assessment* (RULA) entre outras (McAtamney; Corlett, 1993). Isso permite avaliar a exposição de cada segmento corporal em cada nível de risco, de acordo com a ferramenta ergonômica de referência (Figura 3). A coleta de dados é realizada por meio da gravação das tarefas e da observação dos elementos de organização do trabalho, do local de trabalho, dos equipamentos, do manuseio de cargas e das posturas adotadas.



**Figura 3.** Ângulos de medição para cada articulação dos membros superiores.  
Fonte: Kein (2022)

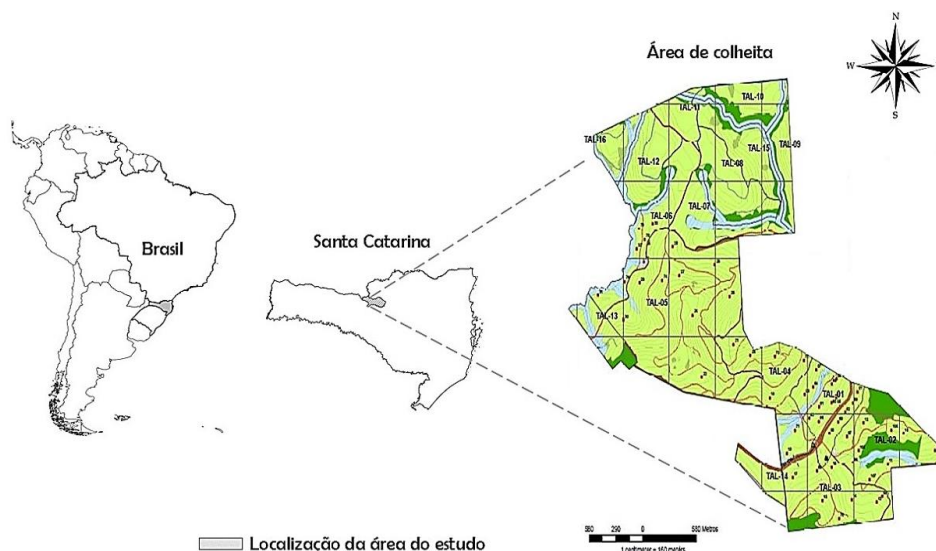
Klein et al. (2022) conduziram uma pesquisa comparativa utilizando o método observacional e a análise postural pelo software *Kinebot*® em trabalhadores de ambientes fabris. Os resultados evidenciaram a aplicabilidade simples do *Kinebot*®, apresentando correlação positiva e moderada para o tronco, pescoço, antebraço direito, braço esquerdo e direito. Houve uma correlação positiva e moderada entre as variáveis antebraço esquerdo e nível de ação final. Desta maneira, o *Kinebot*® mostrou-se mais intuitivo e os resultados foram consistentes com o RULA, uma vez que a subjetividade de um método convencional tem seus níveis de avaliação diminuídos com o avanço das tecnologias.

Portanto, evidencia-se que o *Kinebot*® integra e aplica de forma eficiente fundamentos de ferramentas ergonômicas, proporcionando uma análise aprofundada e precisa do critério e dos riscos associados ao trabalho. Ao realizar o mapeamento e a qualificação desses fatores, o software oferece uma visão clara dos pontos críticos, facilitando a identificação das situações que exigem intervenção, tornando uma ferramenta valiosa para os gestores e ergonomistas para o desenvolvimento de soluções eficazes para a melhoria das condições de trabalho e implementação de medidas preventivas que minimizam os problemas ergonômicos no ambiente laboral.

## 5. MATERIAL E MÉTODO

### 5.1. Área de estudo

Esta pesquisa foi realizada nas áreas operacionais de colheita da madeira de uma empresa florestal localizada na região sul do Brasil (Figura 4).



**Figura 4.** Localização geográfica da área de estudo.

O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb, também conhecido como clima temperado úmido sem estação seca, com verões frescos e invernos rigorosos com geadas intensas (Caldato et al., 1996, Alvares et al., 2013). A temperatura média anual corresponde a 16,5°C, a precipitação média anual é de 1.608 mm e umidade relativa do ar média anual é de 77% (Kurasz, 2005).

A vegetação natural da região é classificada como Floresta Ombrófila Mista, especialmente em sua formação Floresta Ombrófila Mista Montana. Os solos predominantes são cambissolos háplicos, com grande variação de profundidade e drenagem variando de acentuada à imperfeita e nitossolos brunos de textura argilosa ou muito argilosa, moderadamente ácidos, a topografia é acidentada (Tabela 3), intercalada por morros, colinas e chapadas, com grande parte do território com altitudes superiores a 1.000 m acima do nível do mar (IBGE, 2012).

Os dados da pesquisa foram obtidos em povoamentos de *Pinus elliottii*, com idade de 41 anos, espaçamento de 2,5 m x 2,0 m, volume médio das árvores de 1,87 m<sup>3</sup>, submetido ao regime de manejo de corte raso. As características dendrométricas do povoamento florestal estudado são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Características do povoamento florestal estudado.

<b>Características do povoamento florestal</b>	
Área (ha)	42,9
Idade de corte (anos)	41
Espaçamento (m)	2,5 x 2,0
Área basal ( $m^2 ha^{-1}$ )	53,33
DAP médio (cm)	38,5
Altura média (cm)	32,9
Densidade (arv/ha)	465
Volume médio individual ( $m^3$ )	1,8745
Incremento Corrente Anual ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ )	21,05
Incremento médio anual ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ )	22,27
Volume total ( $m^3$ )	37.437,68



## **5.2. População estudada**

Inicialmente, esta pesquisa foi submetida e aprovada no Comitê de Ética em Pesquisa – CEP da Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO) sob o parecer nº 5.613.098 (Anexo I). Todos os trabalhadores participaram de forma voluntária e receberam esclarecimentos quanto à metodologia e os objetivos da pesquisa, tendo ciência a respeito do uso dos dados de imagens por meio da leitura e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), em conformidade com determinações das Resoluções 466/2012, 510/2016 do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP – UNICENTRO) e atendimento a Resolução 196/1996 da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) do Ministério da Saúde.

Na Tabela 4 encontram-se as características gerais da população estudada, sendo composta por três operadores de máquinas florestais, ou seja, um operador de

*harvester*, um operador de *forwarder* e um de *Skidder*, ressaltando que as avaliações foram realizadas no turno diurno de trabalho e a empresa possuía apenas esses conjuntos de máquina nesta frente de trabalho. Todos os trabalhadores foram caracterizados em relação a idade, massa corporal, estatura, tempo na função e outras variáveis através de medições e questionário aplicado na forma de entrevista no próprio local de trabalho.

**Tabela 4.** Características gerais da população pesquisada.

Características	Operadores		
	<i>Harvester</i>	<i>Forwarder</i>	<i>Skidder</i>
Idade (anos)	49	36	26
Massa corporal (kg)	83	99	82
Estatura (m)	1,77	1,70	1,72
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	24,49	34,26	24,76
Escolaridade	EFI	EFI	EFI
Tempo de emp. (anos)	28	2	5
Tempo de função (anos)	20	2	2

Legenda: EFI = Ensino Fundamental Incompleto; IMC = ÍNDICE DE Massa Corporal.

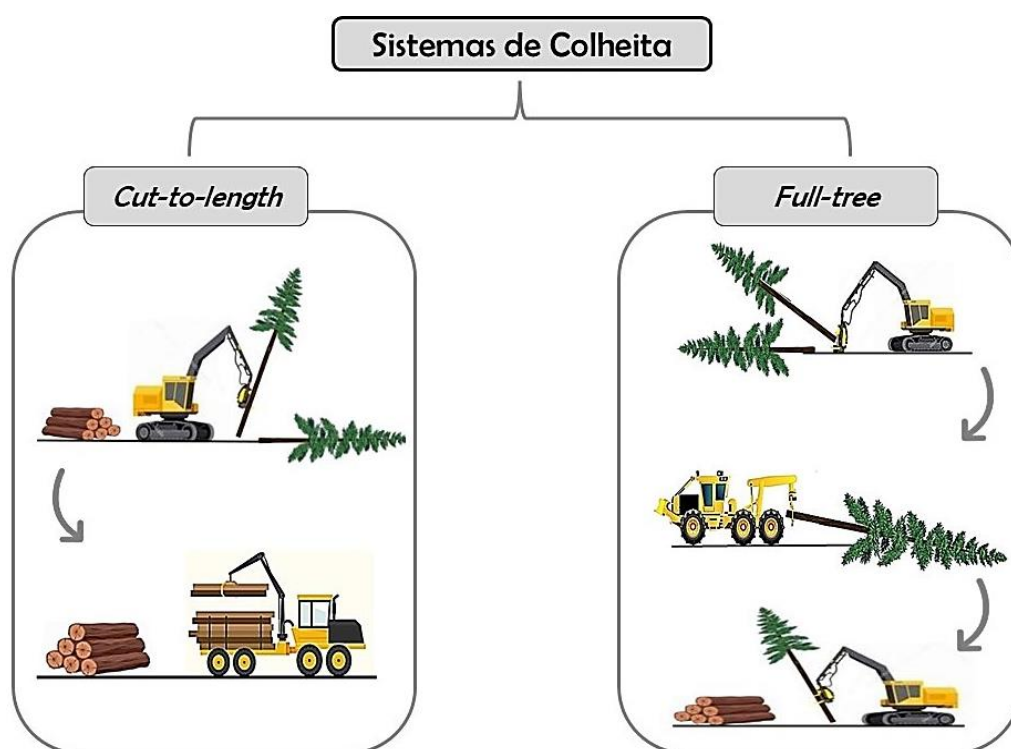
A média da idade dos operadores das máquinas participantes era de 35 anos, estatura média de 1,73 m e massa corporal média de 88,0 kg. O índice de massa corporal (IMC) médio foi de 27,8, classificando-os na categoria de sobrepeso, segundo a tabela de interpretação da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Em relação à escolaridade, todos os operadores haviam concluído o ensino fundamental; eram destros e estavam trabalhando na função há mais de dois anos. O acesso dos trabalhadores até a área de colheita da madeira era realizado através de transporte coletivo disponibilizado pela empresa, que durava em média aproximadamente 1 hora até a chegada no talhão florestal. A jornada de trabalho dos operadores florestais é, em média, de 8 horas diárias, totalizando 40 horas semanais. Com o intuito de preservar a saúde ocupacional e assegurar condições adequadas de segurança, são adotadas práticas ergonômicas, como a ginástica laboral e o uso obrigatório de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs).

### 5.3. Atividades e máquinas avaliadas

As atividades de colheita de madeira na empresa eram realizadas adotando dois sistemas: toras curtas (*Cut-to-length*), em que a árvore era derrubada, destopada,

desgalhada e traçada em toras no interior do talhão pelo *harvester* conforme os sortimentos pré-estabelecidos, e em seguida, extraídas para a margem da estrada por meio do baldeio realizado pelo *forwarder* (Figura 5). Uma outra situação de sistema adotado era de árvores inteiras (*Full-tree*), em que as árvores eram somente derrubadas e agrupadas em feixes no interior do talhão pelo *harvester*, e arrastada pelo *skidder* para a margem da estrada para serem processadas pelo próprio *harvester*. (Figura 5).






**Figura 5.** Esquema dos sistemas de colheita da madeira avaliadas.

No sistema de toras curtas (*Cut-to-length*) foram avaliadas todas as máquinas envolvidas na operação (*harvester* e o *forwarder*), enquanto no sistema de árvores inteiras (*Full-tree*), foi avaliada apenas a atividade de extração com *skidder*.

Na Tabela 5 encontram-se as características e especificações técnicas das máquinas avaliadas neste estudo.

**Tabela 5.** Máquinas avaliadas no estudo.

Características	Máquinas		
	<i>harvester</i>	<i>forwarder</i>	<i>skidder</i>
			
Operação	Corte	Extração/Baldeio	Extração/Arraste
Rodados	Esteiras	Pneus	Pneus
Tração	Esteiras	8x8	4x4
Horímetro (h)	11.000	20.563.	12.745
Comp. da máquina (m)	5,1	10,37	8,6
Largura da máquina (m)	3,2	3,9	3,6
Altura da máquina (m)	3,1	3,9	3,4
Potência do motor (kw)	159	186	193
Rotação da cabine	Sim	Sim	Não
Implemento	Cabeçote processador	Garra	Pinça
Acoplamento da lança	Lateral	Frontal	Frontal
Peso operacional (kg)	25.572	19.050	19.713

#### 5.4. Cenários operacionais

As avaliações dos riscos ergonômicas das máquinas foram realizadas nas seguintes condições de declividade do terreno:

- Classe 1 - Declividade do terreno até 10° ( $D \leq 10$ );
- Classe 2 - Declividade do terreno de 10° a 20° ( $10 < D \leq 20$ ); e
- Classe 3 - Declividade do terreno acima de 20° ( $D > 20$ ).

#### 5.5. Procedimento de amostragem

O estudo abrangeu três operadores de máquinas florestais, ou seja, um operador de *harvester*, um operador de *forwarder* e um de *skidder*, em que a Vibração de Corpo Inteiro (VCI) e Vibração de Mãos e Braços (VMB) foram avaliadas no posto de trabalho durante o ciclo operacional de cada máquina considerando os três tratamentos referentes às classes de declividade do terreno.

A intensidade amostral foi calculada seguindo os pressupostos de Griffin (1990), com três tratamentos (classes de declividade) e as variáveis compostas pelas amostras das acelerações nos eixos X, Y e Z. Posteriormente foi calculado o tamanho mínimo de amostras a serem utilizadas na VCI e VMB ao nível de 95% de probabilidade e erro de 10%, por meio da equação proposta por Barnes (1977).

$$n \geq \frac{t^2 \times cv^2}{E^2} \quad \text{Eq. 1}$$

**Em que:** n = número mínimo de repetições (amostras) necessárias; t = valor de t, para o nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade; CV = coeficiente de variação, em porcentagem; e E = erro admissível, em porcentagem.

Na Tabela 6 é possível observar o número mínimo de amostras necessárias e a quantidade efetivamente coletada para as vibrações (VCI e VMB). A análise indicou que o número de amostras coletadas ultrapassou o valor mínimo estabelecido, conforme os resultados obtidos no estudo das amostras-piloto.

**Tabela 6.** Número mínimo de amostras para Vibração de Corpo Inteiro (VCI) e Vibração de Mãos e Braços (VMB).

N° de amostras	Acelerações (eixos X, Y, Z)					
	<i>Harvester</i>		<i>Forwarder</i>		<i>Skidder</i>	
	VCI	VMB	VCI	VMB	VCI	VMB
Mínimo	286	134	142	218	252	330
Coletado	1.471		1.688		860	

Na Tabela 7 encontram-se a quantidade de ciclos operacionais das máquinas avaliados e seus respectivos tempos médios de duração. Desse modo, a repetições foram compostas pelos ciclos operacionais, onde no corte com o *harvester* foram avaliados 39 ciclos operacionais na declividade até 10°, 41 ciclos na declividade entre 10 e 20°, e 29 ciclos acima de 20° de declividade do terreno, totalizando 109 ciclos operacionais. Na extração por baldeio com o *forwarder* foram avaliados 03 ciclos operacionais em cada classe de declividade, sendo um total de 09 ciclos operacionais; enquanto na extração por arraste com *skidder* foram avaliados 10 ciclos operacionais até 10°, 04 ciclos na declividade entre 10 e 20° e 03 ciclos acima de 20° de declividade do terreno, sendo no total, 17 ciclos operacionais da operação (Tabela 7).

**Tabela 7.** Quantidade de ciclos operacionais das máquinas e tempos médios de coleta de dados nas classes de declividade do terreno.

Máquina	Classes de declividade	Número de ciclos	Média dos tempos de medição (s)
<i>Harvester</i>	$D \leq 10^\circ$	39	4742
	$10 < D \leq 20^\circ$	41	4999
	$D > 20^\circ$	29	3501
<i>Forwarder</i>	$D \leq 10^\circ$	3	4300
	$10 < D \leq 20^\circ$	3	5100
	$D > 20^\circ$	3	5800
<i>Skidder</i>	$D \leq 10^\circ$	10	2559
	$10 < D \leq 20^\circ$	4	2659
	$D > 20^\circ$	3	2521

Para a avaliação postural, 10 ciclos operacionais em cada operação foram analisados nas três classes de declividade, totalizando 30 ciclos por máquina e atividade. Portanto, o objetivo do estudo foi analisar o tempo que o operador permanecia executando as posturas específicas durante a jornada de trabalho. A partir da análise dos tempos e movimentos, foi identificado os tempos médios do ciclo operacional parcial e completo das máquinas no corte e extração (Tabela 8).

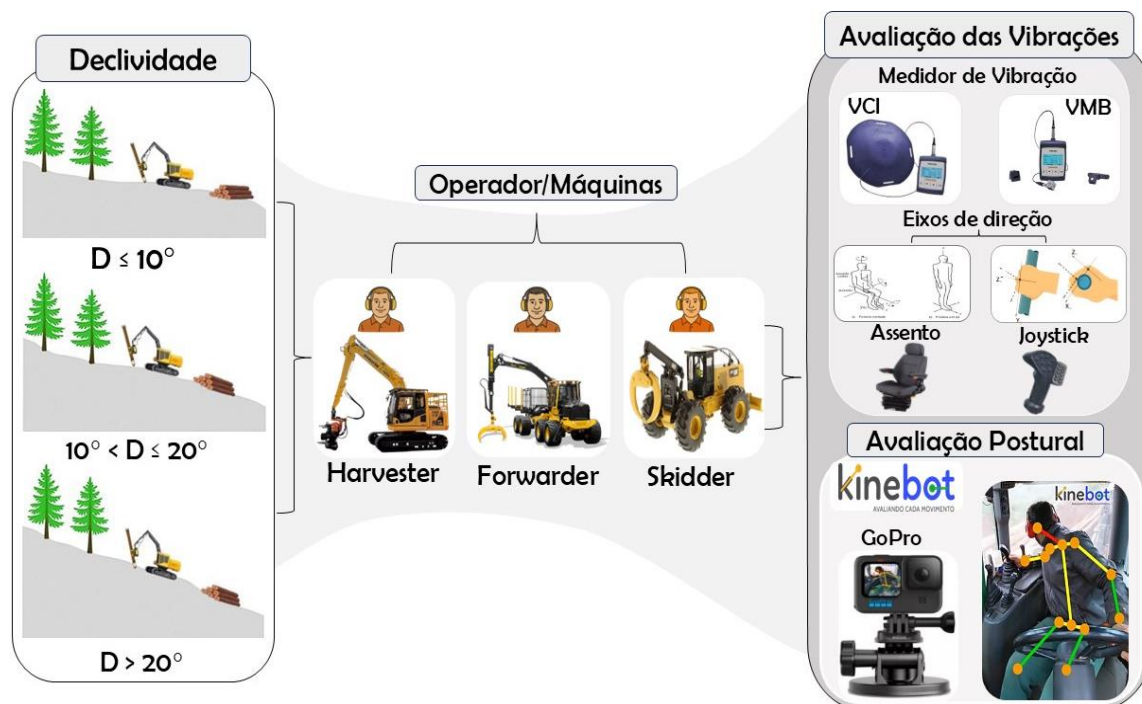
**Tabela 8.** Tempos médios de duração das etapas do ciclo operacional parcial e completo das máquinas nas operações de corte e extração.

Máquina	Elementos parciais	Classe de declividade		
		$D \leq 10^\circ$	$10^\circ < D \leq 20^\circ$	$D > 20^\circ$
<i>Harvester</i>	DE	00min19	00min30	00min35
	BC	00min28	00min22	00min35
	PR	01min13	01min01	00min50
<b>Tempo total do ciclo</b>		<b>01min59</b>	<b>01min53</b>	<b>02min00</b>
<i>Forwarder</i>	DV	02min55	02min53	02min56
	CR	06min23	11min56	11min30
	DC	04min26	03min51	04min33
	DR	06min53	07min20	08min23
<b>Tempo total do ciclo</b>		<b>20min37</b>	<b>25min59</b>	<b>27min22</b>
<i>Skidder</i>	DV	01min42	03min33	04min19
	CR	00min25	00min39	01min51
	DC	01min58	03min44	03min14
	DR	00min39	01min04	00min43
<b>Tempo total do ciclo</b>		<b>04min43</b>	<b>09min00</b>	<b>10min06</b>

Legenda: Deslocamento (DE), Busca e Corte (BC), Processamento (PR), Deslocamento Vazio (DV), Carregamento (CR), Deslocamento Carregado (DC), Descarregamento (DR).

## 5.6. Riscos ergonômicos avaliados

Neste estudo foram avaliados os riscos ergonômicos nos postos de trabalho das máquinas nas três classes de declividade do terreno em relação à Vibração de Corpo Inteiro (VCI), Vibração de Mãos e Braços (VMB) e Postura Corporal dos operadores (Figura 6).

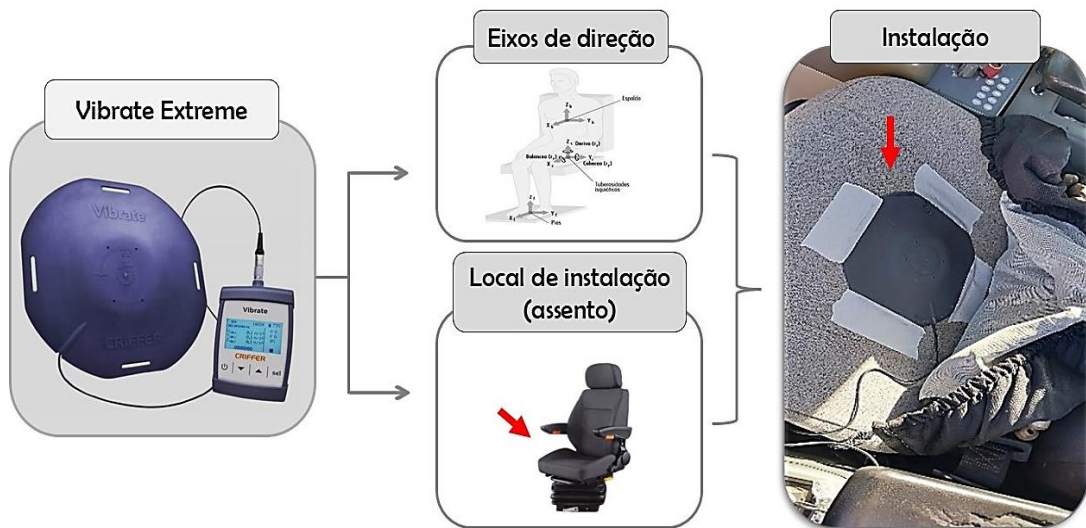


**Figura 6.** Esquema dos tratamentos, máquinas e procedimentos de coleta de dados.

### 5.6.1. Exposição ocupacional a vibração de corpo inteiro (VCI)

A avaliação da exposição ocupacional da VCI baseou-se na Organização Internacional de Padronização ISO 2631-1:1997 (ISO, 1997), que segue um sistema de eixos de coordenadas ortogonais em três direções (x, y, z), onde x corresponde à vibração anteroposterior transmitida ao corpo do operador, y corresponde à vibração lateral e z corresponde à vibração longitudinal, de acordo com a norma ISO 8041-1:2005 (ISO, 2005) e Diretiva 2002/44/CE que oferece uma estrutura sólida para a medição, análise e controle da exposição de trabalhadores a vibrações de corpo inteiro. Dessa maneira, combinando aos parâmetros técnicos das normas internacionais com os limites regulamentares da Diretiva, é possível garantir a saúde e segurança ocupacional de maneira eficaz.

Para a coleta dos dados de VCI utilizou-se um medidor de vibração da marca Criffer, modelo *Vibrate Extreme* (Figura 7), utilizando-se o acelerômetro de assento do tipo triaxial para registro de valores referentes à aceleração e dose nos eixos x, y e z, com aceleração ponderada, expressa em  $m/s^2$ , que são fatores multiplicadores, onde  $a_{wx}$  e  $a_{wy} = 1,4$  e  $a_{wz} = 1,0$ . Trata-se de um aparelho integrador que atende aos requisitos previstos nas Normas ISO 8041-1:2017 e ISO 2631-1:1997, que foi instalado na superfície do assento da máquina, especificamente na interface entre o corpo e a fonte de vibração, respeitando-se a localização dos eixos, que capturou as leituras a cada segundo durante toda a jornada.



**Figura 7.** Medidor de vibração de corpo inteiro utilizado na pesquisa e procedimentos de instalação.

De acordo com a norma ISO 2631, as principais variáveis utilizadas para avaliar a exposição à VCI são a exposição diária de 8 horas ( $A_{wl}(8)$ ) no eixo  $l$  e o valor da dose de vibração (VDV) conforme as equações seguintes.

$$a_{wl}(8) = \left( \frac{1}{T_0} \sum a_{wlj}^2 \times T_j \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Eq. 2}$$

**Em que:**  $a_{wl}(8)$  é a exposição diária (8 h) à vibração para o eixo  $l$ , em que  $l = x, y$  ou  $z$  ( $m/s^2$  rms);  $T_0$  é o tempo de duração de referência em 8 h ou 28.800 s;  $a_{wl}$  é a aceleração global ponderada global ponderada no eixo  $l$ , em que  $l = x, y$  ou  $z$  ( $m/s^2$  rms); e  $T$  é a duração da medição em segundos.

O valor da dose de vibração (VDV) considera os picos de vibração registrados ao longo do período de medição nos três eixos ortogonais. No entanto, não leva em conta a duração da exposição à vibração (Equação 3).

$$VDV = k_l \left( \int_0^T [a_{w_l}(t)^4] dt \right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{Eq. 3}$$

**Em que:** VDV é o valor da dose de vibração ( $\text{m/s}^{-1.75}$ );  $k_l$  é o fator de multiplicação para a direção  $l$  ( $k = 1,4$  para  $l = x, y$ ;  $k = 1,0$  para  $l = z$ );  $a_{w_l}(t)$  é a aceleração ponderada em função do tempo entre função do tempo entre 0,5 e 60 Hz ( $\text{m/s}^{-2}$ ); e  $T$  é o tempo de duração da medição em segundos.

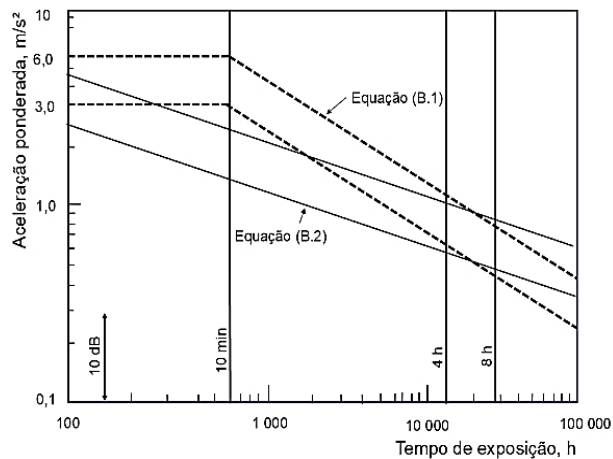
Para estabelecer a relação entre os níveis de aceleração ponderada e o tempo de duração da exposição, com destaque para as exposições na faixa de 4 a 8 horas, para pessoas sentadas, utilizou-se o gráfico do anexo B da ISO 2631-1:1997, sendo que os resultados foram inseridos nas equações propostas por Griffin (1998) para determinação do limite de tempo superior de exposição e o limite de tempo inferior de exposição.

$$T_u(\text{min}) = 10. \left[ \frac{6}{a_w} \right]^2 \quad \text{Eq. B.1}$$

$$T_l(\text{min}) = 10. \left[ \frac{3}{a_w} \right]^2 \quad \text{Eq. B.2}$$

**Em que:**  $T_u$  = o limite de tempo superior de exposição;  $T_l$  = o limite de tempo inferior de exposição; e  $a_w$  = a aceleração ponderada em  $\text{m/s}^2$ ).

Neste anexo, a ISO apresenta um gráfico guia sobre os efeitos das vibrações, onde as regiões de precaução são apontadas para exposições de várias durações, destacando os intervalos entre 4 e 8 horas conforme demonstrado na Figura 8.

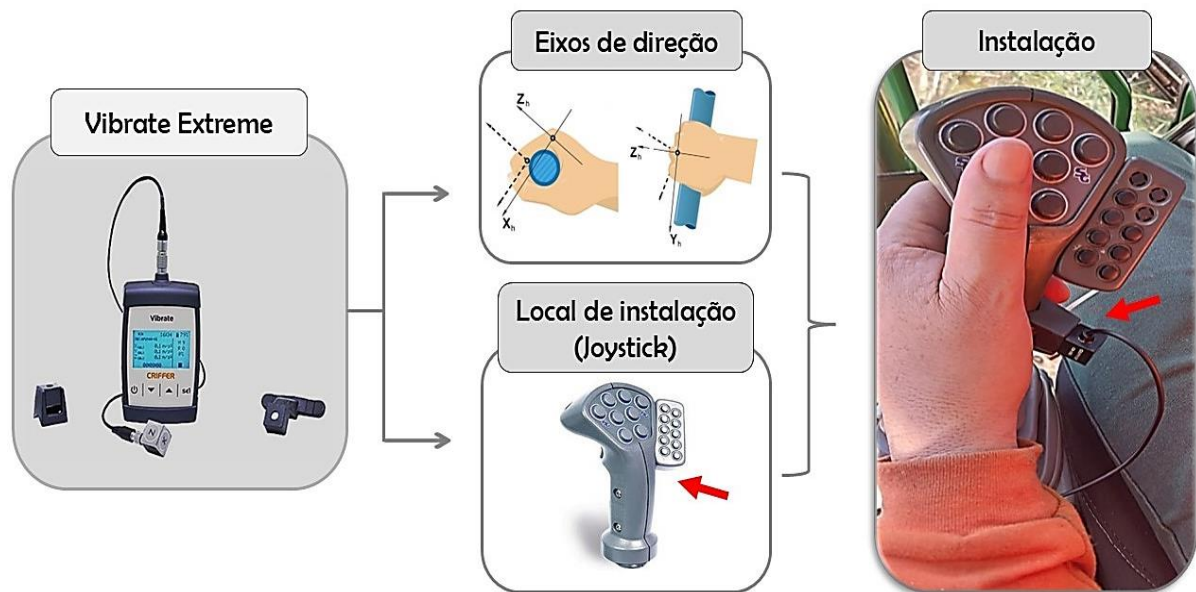


**Figura 8.** Gráfico guia com as zonas de precaução à saúde. Fonte: ISO (1997) – Anexo B. Fonte: Adaptado de ISO 2631-1 (1997).

No gráfico, uma zona orientadora da necessidade de vigilância é mostrada tracejado, indicando a necessidade de se tomarem precauções no que se refere a potenciais riscos para a saúde e exposições, abaixo da zona indicada, não foram claramente documentados ou objetivamente observados efeitos na saúde; acima daquela zona se prever efetivos riscos para a saúde, indicando que os riscos são prováveis à saúde.

### 5.6.2. Exposição ocupacional a vibração de mãos e braços (VMB)

Para fins de avaliação da exposição ocupacional dos operadores florestais à VMB, os valores foram obtidos de acordo com as partes 1 e 2 da norma ISO 5349 de 2001 e por meio da diretiva da Comunidade Europeia 2002/44/EC. A medição foi executada por meio do medidor integrador, da marca Criffer, modelo *Vibrate Extreme* considerando as acelerações ao longo dos três eixos perpendiculares (x, y, z), de acordo com as recomendações, em que o acelerômetro foi instalado no *Joystick* de cada máquina com auxílio de um suporte e fixado por uma abraçadeira (Figura 9).



**Figura 9.** Medidor de vibração utilizado na pesquisa e procedimentos de instalação.

A exposição diária à vibração  $A(8)$ , resultante das medições correspondente à aceleração ponderada segundo as coordenadas ortogonais ( $x$ ,  $y$  e  $z$ ) transmitida aos membros superiores, foi convertida para jornada diária padrão de 8 horas (Equação 3).

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum a_{hvi}^2 \times T_i} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:  $A(8)$  é a exposição diária à vibração;  $a_{hvi}$  é o valor total de vibração para o elemento de trabalho  $i$ ;  $n$  é número total de elementos de trabalho;  $T_0$  é o tempo de trabalho de referência de oito horas (28800 s);  $T_i$  é a duração do elemento de trabalho  $i$ .

De posse dos resultados da aceleração  $A(8)$  e VDV, foi calculado o valor médio nas diferentes máquinas e cenários operacionais, e posteriormente foram comparados com os limites de tolerância para VCI e VMB, conforme a ISO 2631, ISO 5349 e Diretiva 2002/44/CE (Tabela 9). Os resultados foram analisados com intuito preventivo, tendo como base as diretrizes internacionais da *American Conference of Government Industrial Hygienists* (CGIH), que estabelece os critérios para caracterização de condições de trabalho insalubres decorrentes da exposição a agentes físicos e biológicos.

**Tabela 9.** Recomendações da Diretiva 2002/44 CE.

Diretiva 2002/44/CE – limites de exposição e níveis de ação		
Parâmetro	Vibração de Mãos e Braços (VMB)	Vibração de Corpo Inteiro (VCI)
Nível de Ação (NA)	2,5 m.s <sup>-2</sup> A(8) <sup>(a)</sup>	0,5 m.s <sup>-2</sup> A(8) <sup>(a)</sup> ou 9,1 VDV <sup>(b)</sup> (pior eixo)
Limite de Exposição (LE)	5 m.s <sup>-2</sup> A(8) <sup>(a)</sup>	1,15 m.s <sup>-2</sup> A (8) <sup>(a)</sup> ou 21 VDV <sup>(b)</sup> (pior eixo)

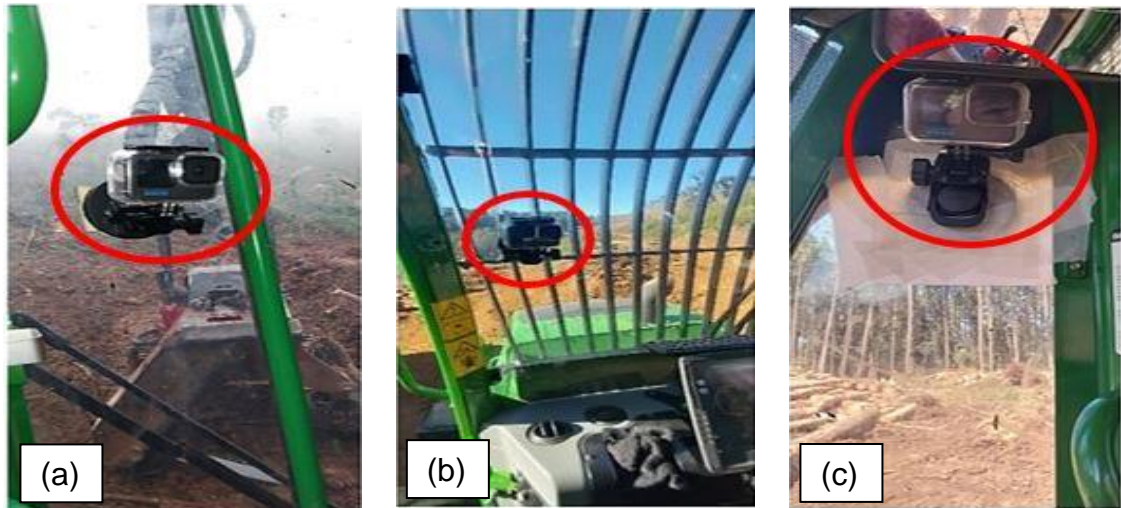
a) A avaliação da exposição à vibração de corpo inteiro (VCI) baseia-se na determinação da exposição diária A(8) expressa pela aceleração equivalente para um período normalizado de 8 horas, obtida a partir da maior parcela dos valores eficazes, ou a parcela mais elevada do valor de dose da vibração (VDV), das acelerações ponderadas em frequência determinada segundo os três eixos ortogonais (1,4 a<sub>wx</sub>, 1,4 a<sub>wy</sub>, 1 a<sub>wz</sub> para trabalhadores sentados ou em pé), conforme capítulos 5, 6 e 7 e anexos A e B da ISO 2631-1:1997.

(b) VDV – Valor de Dose da Vibração, parâmetro a ser utilizado conforme ISO 2631- 1 quando há presença de picos ou choques significativos.

Fonte: Cunha (2004).

### 5.6.3. Avaliação postural

As avaliações das posturas corporais adotadas pelos operadores no interior dos postos das máquinas foram realizadas, inicialmente, por meio de filmagem com uso de uma câmera da marca *GoPro*, modelo Hero 10, que foram instaladas no interior da cabine e posicionadas com angulação de 30 graus em relação ao operador para a captura dos movimentos das articulações de membros superiores (Figura 10). As filmagens foram realizadas durante a jornada de trabalho com duração de uma hora nas diferentes classes de declividade do terreno. Posteriormente, as gravações das filmagens passaram por processamento em laboratório visando a separação das imagens por um período que contemplava os ciclos operacionais típicos das máquinas para posterior processamento das imagens no *software* de avaliação postural.



**Figura 10.** Posicionamento da câmera para a captura das imagens para a avaliação postural. Sendo: *Harvester* (a), *Forwarder* (b), *Skidder* (c).

Legenda: Círculo na cor vermelha indica o local de instalação da câmera na cabine da máquina.

Em seguida, as filmagens dos operadores foram avaliadas no software *Kinebot*®, com uso de licença adquirida pelo Laboratório de Ergonomia e Colheita Florestal, do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). O *software* faz uso dos conceitos do método RULA (*Rapid Upper Limber Assessment*) de análises posturais, desenvolvido por McAtamney e Corlett (1993), que utiliza de inteligência artificial, possibilitando no período da filmagem a identificação de todos os movimentos humanos e a medição das angulações das articulações: tronco, pescoço, ombros direito e esquerdo e cotovelos direito e esquerdo, caracterizando assim, as posturas típicas adotadas pelo operador (Figura 9).





**Figura 11.** Exemplo do processamento da avaliação postural pelo *software* Kinebot®. Sendo: *Harvester* (a); *Forwarder* (b) e *Skidder* (c).

Legenda: Linhas e círculos são gerados automaticamente pelo *software*.

Assim, o *software* determina o percentual de exposição durante o período analisado e produz um relatório de análise postural, atribuindo escores e níveis de ações a serem implementadas, conforme explicado:

- Nível de ação 1 (Verde): Aceitável → Postura aceitável se não for repetida ou mantida por longos períodos.
- Nível de ação 2 (Amarelo): Risco leve → Investigar; possibilidade de solicitar alterações; devem ser feitas alterações.
- Nível de ação 3 (Vermelho): Risco médio → Investigar; fazer alterações rapidamente.
- Nível de ação 4 (Roxo): Risco elevado → Alteração imediata.

Simultaneamente, foi realizado um estudo de tempos e movimentos para as atividades de corte e extração, em que foram utilizados formulários de campo, prancheta e cronômetro centesimal, por meio do método de cronometragem de tempos contínuos, cujas leituras foram realizadas ao final de cada etapa parcial do ciclo operacional da máquina (Barnes, 1977). Tal estudo teve como objetivo de identificar o tempo médio gasto em cada postura típica usada pelos operadores, sendo o ciclo operacional dividido em etapas, conforme descreve a Tabela 10.

**Tabela 10.** Elementos parciais do ciclo operacional das máquinas da colheita de madeira.

<b>Máquinas</b>	<b>Elementos parciais</b>	<b>Descrição</b>
<i>Harvester</i> (Corte)	Deslocamento da Máquina (DM)	Tempo consumido pelo deslocamento da máquina entre as árvores.
	Busca e Corte (BC)	Tempo consumido pela movimentação da máquina e cabeçote em direção à árvore a ser derrubada, com acionamento do sabre e corte da árvore.
	Processamento (PR)	Tempo consumido no processamento (desgalhamento, destopamento, traçamento e empilhamento) da árvore.
<i>Forwarder</i> (Extração)	Deslocamento Vazio (DV)	Tempo consumido no deslocamento da margem da estrada em direção aos feixes de madeira no interior do talhão, terminando com o início do autocarregamento.
	Carregamento (CA)	Tempo compreendido entre o posicionamento e acionamento da abertura da garra, terminando com carga completa no compartimento.
	Deslocamento Carregado (DC)	Tempo consumido com o deslocamento da máquina com a caixa de carga cheia, terminando com o posicionamento próximo às pilhas na margem da estrada.
	Descarregamento (DE)	Sendo o tempo consumido quando a máquina inicia o descarregamento da madeira, finalizando com a caixa de carga vazia.
<i>Skidder</i> (Extração)	Deslocamento Vazio (DV)	Sendo o deslocamento da máquina da margem até o interior do talhão próximo aos feixes de árvores a serem arrastadas.
	Carregamento (CR)	Sendo as manobras realizadas pela máquina, aproximação e carregamento dos feixes de árvores.
	Deslocamento Carregado (DC)	Deslocamento da máquina no arraste dos feixes de árvores do interior até a margem do talhão.
	Descarregamento (DR)	Descarregamento dos feixes de árvores e as manobras na margem do talhão

### 5.7. Análise estatística

Os dados referentes às vibrações (VCI e VMB) foram analisados para fins preventivos, seguindo a orientação internacional da *American Conference of Government Industrial Hygienists* (2021), que define parâmetros para identificar condições de trabalho insalubres resultantes da exposição a agentes físicos e biológicos. A análise estatística foi realizada de acordo com os pressupostos de Griffin (1990), em um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em que cada operador foi avaliado em relação aos níveis de vibração durante o ciclo operacional de cada

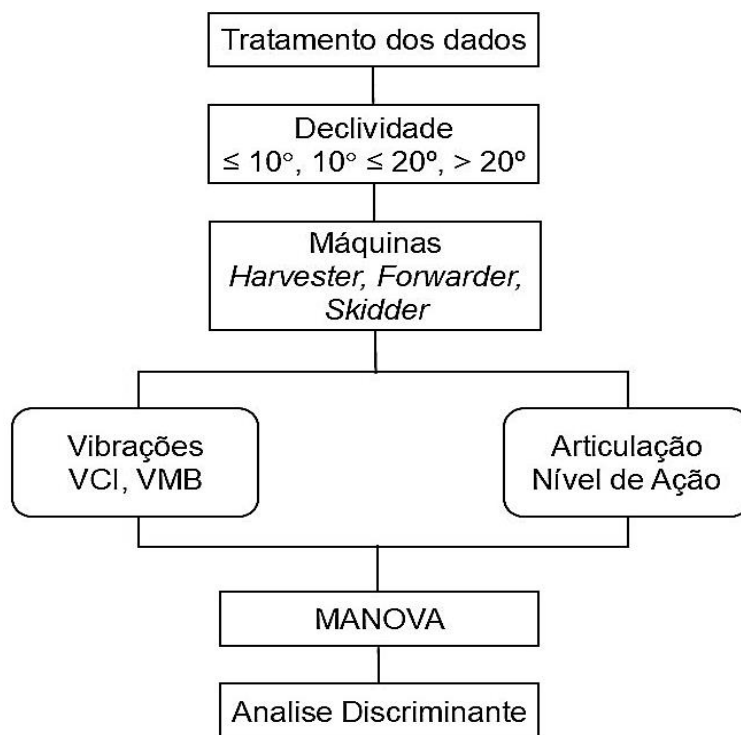
máquina em três tratamentos, levando em conta as três classes de declividade do terreno para cada máquina estudada, sendo as variáveis constituídas pelas acelerações nos eixos X, Y e Z.

Os resultados foram submetidos à análise de variância através do teste de Bartlett, para as variáveis cujas variâncias mostraram-se homogêneas as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para a avaliação postural, foi utilizada a estatística descritiva para a análise dos resultados obtidos através do software Kinebot®.

### **5.8. Correlação entre vibração e postura corporal**

Inicialmente foi realizada uma *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) que englobou todas as variáveis medidas em um único conjunto de dados, que foram: Vibração de Corpo Inteiro (VCI), Vibração de Mãos e Braços (VMB), Tronco (T), Pescoço (P), Ombro Esquerdo (OE), Ombro Direito (OD), Cotovelo Esquerdo (CE) e Cotovelo Direito (CD) em função dos seguintes fatores: Máquinas (*Skidder*, *Harvester* e *Forwarder*) e Classes de Declividade ( $D \leq 10$ ;  $10 < D \leq 20$ ; e  $D > 20$ ).

Os métodos estatísticos utilizados para avaliar a significância das diferenças entre os fatores foram o Traço de Pillai, Lambda de Wilks, Traço de Hotelling e Maior raiz de Roy, que foram empregados após identificar uma aproximação de normalidade multivariada e matriz de variância-covariâncias homogêneas. Após a confirmação da rejeição da hipótese de nulidade multivariada, procedeu-se à análise discriminante do conjunto de variáveis mencionadas, com a finalidade de separar os tratamentos em teste e identificar as variáveis mais relevantes nessa separação (Figura 12).



**Figura 12.** Esquema da MANOVA aplicada no conjunto de dados.

A quantidade de funções descritivas estabelecidas levou em conta um mínimo de 90% da variância explicada. As variáveis mais relevantes foram identificadas através da correlação canônica mais elevada entre a variável original e a função discriminante. A análise dos dados foi realizada através do *software* IBM SPSS *Statistics for Windows*, versão 25.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, EUA) e Assistat, versão 7.7.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Exposição ocupacional a vibração de corpo inteiro (VCI)

Na Tabela 11 são apresentados os resultados de VCI em termos de aceleração nos eixos X, Y e Z; a magnitude da vibração total em termos de exposição A(8); e o Valor de Dose da Vibração (VDV) obtidas nas atividades de corte e extração realizadas pelas máquinas nas diferentes classes de declividade do terreno. Na avaliação quantitativa dos resultados procurou-se separá-los por tipo de máquina considerando o ciclo operacional completo da operação.

**Tabela 11.** Resultados da exposição ocupacional à Vibração de Corpo Inteiro.

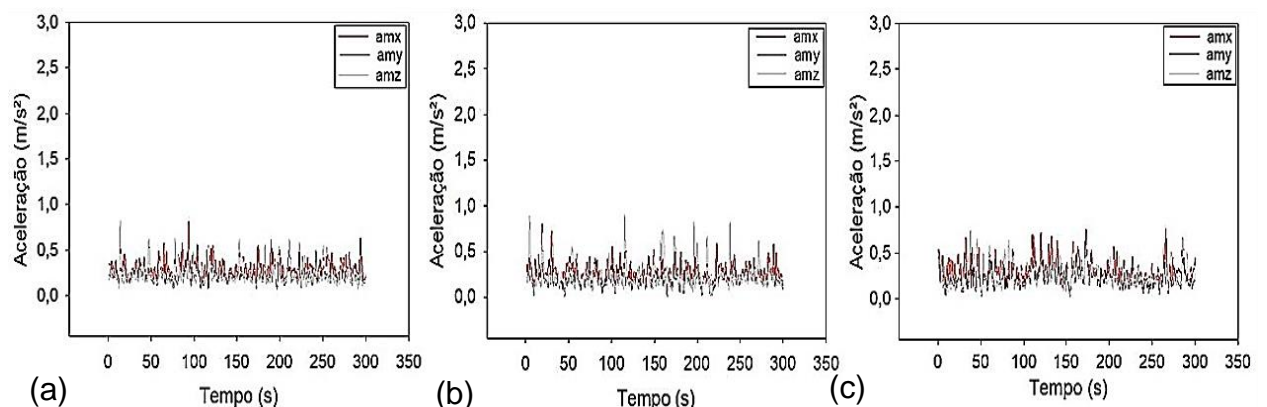
Máquinas (Atividade)	Declividade do terreno	Aceleração nos eixos de medição (m/s <sup>2</sup> )			A(8) (m/s <sup>2</sup> )	VDV (m/s <sup>-1,75</sup> )	
		X	Y	Z			
<i>Harvester</i> (Corte)	D ≤ 10	0,23 a	0,16 b	0,22 a	0,46 a	4,69 a	
		DP	0,01	0,01	0,03	0,02	0,56
		CV	4,35	7,37	13,32	4,95	12,04
	10 < D ≤ 20	0,28 a	0,29 a	0,34 a	0,46 a	7,16 a	
		DP	0,12	0,22	0,22	0,03	2,71
		CV	41,89	76,61	63,83	5,67	37,78
	D > 20	0,22 a	0,18 a	0,24 a	0,48 a	4,76a	
		DP	0,04	0,03	0,05	0,08	2,41
		CV	17,47	14,70	20,84	17,82	50,72
<i>Forwarder</i> (Extração)	D ≤ 10	0,16 b	0,28 a	0,25 a	0,52 a	6,83 a	
		DP	0,01	0,04	0,04	0,07	2,03
		CV	3,69	12,69	16,38	12,43	29,7
	10 < D ≤ 20	0,17 b	0,29 a	0,26 a	0,55 a	6,99 a	
		DP	0,01	0,03	0,02	0,04	3,15
		CV	5,88	9,12	6,66	6,58	45,1
	D > 20	0,18 a	0,30 a	0,29 a	0,59 a	5,81 a	
		DP	0,02	0,07	0,06	0,11	1,67
		CV	8,65	23,33	19,38	21,83	28,7
<i>Skidder</i> (Extração)	D ≤ 10	0,55 a	0,56 a	0,44 a	1,21 a	8,34 a	
		DP	0,14	0,16	0,15	0,33	3,21
		CV	25,63	28,42	33,02	27,21	38,47
	10 < D ≤ 20	0,54 a	0,56 a	0,45 b	1,19 a	8,03 a	
		DP	0,05	0,03	0,03	0,09	1,03
		CV	9,19	5,36	5,55	7,09	12,87
	D > 20	0,37 a	0,39 a	0,37 a	0,86 a	6,72 a	
		DP	0,09	0,09	0,09	0,2	0,8
		CV	22,78	22,79	25,34	18,62	11,96

DP = Desvio Padrão, CV= Coeficiente de Variação.

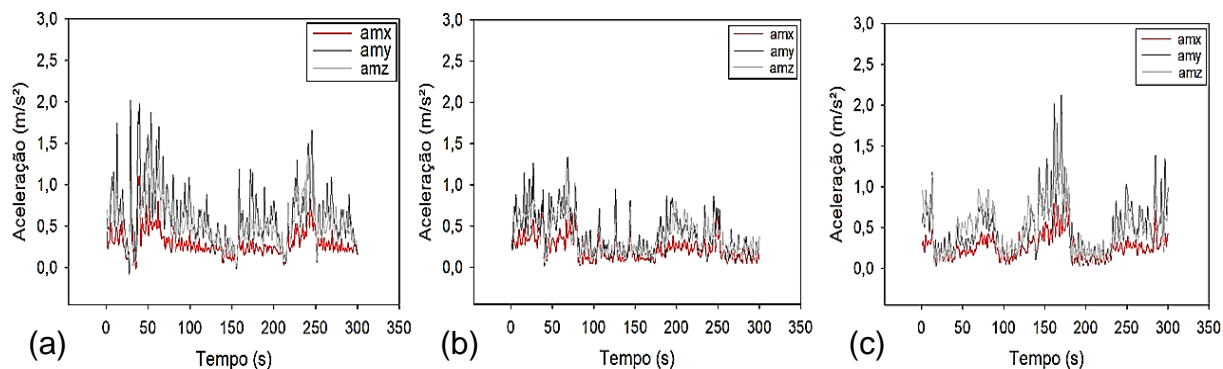
Letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente para os eixos X, Y e Z de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente para A(8) e VDV de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Portanto, ao analisar os valores obtidos em campo, verificou-se que não houve diferença estatística significativa entre os níveis de vibrações considerando nas diferentes classes de declividade do terreno. Desse modo, a avaliação da operação de corte com *harvester* resultou em uma magnitude de vibração equivalente de 0,46 m/s<sup>2</sup> nas classes de declividades até 10° e entre 10° a 20° e de 0,48 m/s<sup>2</sup> na declividade do terreno acima de 20°, conforme demonstrados na Tabela 10. A operação de extração por baldeio com *forwarder* obteve uma vibração equivalente a 0,52 m/s<sup>2</sup> na declividade até 10°, 0,55 m/s<sup>2</sup> na declividade entre 10 a 20° e 0,59 m/s<sup>2</sup> na declividade acima de 20°. Os maiores níveis de vibrações foram obtidos na atividade de extração com *skidder* sendo os valores respectivamente, 1,21 m/s<sup>2</sup>, 1,19 m/s<sup>2</sup> e 0,86 m/s<sup>2</sup>, nas três classes de declividade do terreno

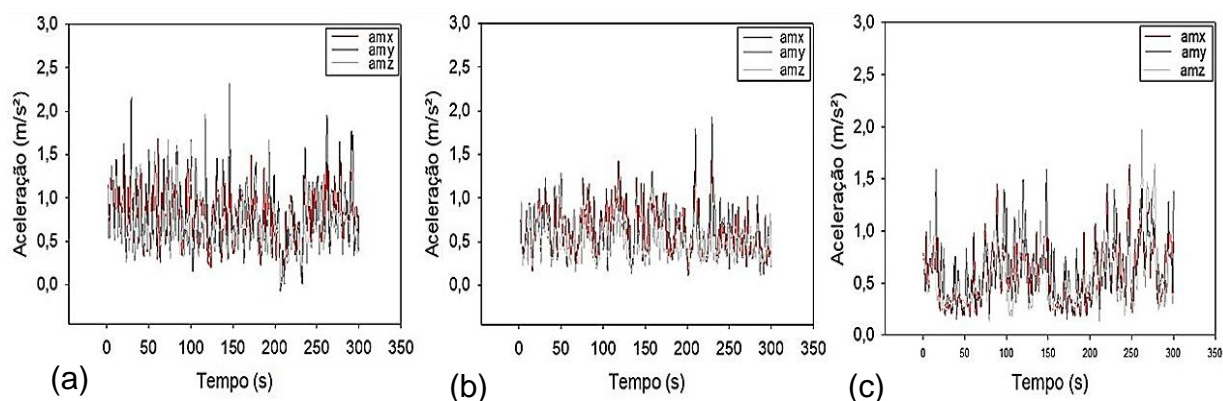
Nas Figuras 13, 14 e 15 estão ilustrados os dados interpolados de vibração nos eixos de direção X, Y e Z resultantes da operação de corte com *harvester* e extração com *forwarder* e *skidder* por um determinado período, nas diferentes classes de declividades do terreno, de forma a caracterizar os padrões das vibrações encontrados neste estudo. Com isso, foi possível analisar individualmente as amplitudes de cada frequência, de acordo com os eixos de direção da vibração. Como pode ser observado, a operação de corte com o *harvester* apresentou comportamento da ocorrência de menor variação na amplitude dos dados, mantendo um padrão constante dos níveis de vibração nos diferentes eixos de direção em todo ciclo operacional do corte da madeira e em todas as classes de declividade (Figura 13).



**Figura 13.** Padrão típico da VCI observado na operação de corte com *harvester* nas diferentes classes de declividade do terreno. Sendo:  $D \leq 10^\circ$  (a),  $10 < D \leq 20^\circ$  (b),  $D > 20^\circ$  (c).



**Figura 14.** Padrão típico da VCI observado na operação de extração por baldeio com *forwarder* nas diferentes classes de declividade do terreno. Sendo:  $D \leq 10^\circ$  (a),  $10 < D \leq 20^\circ$  (b),  $D > 20^\circ$  (c).

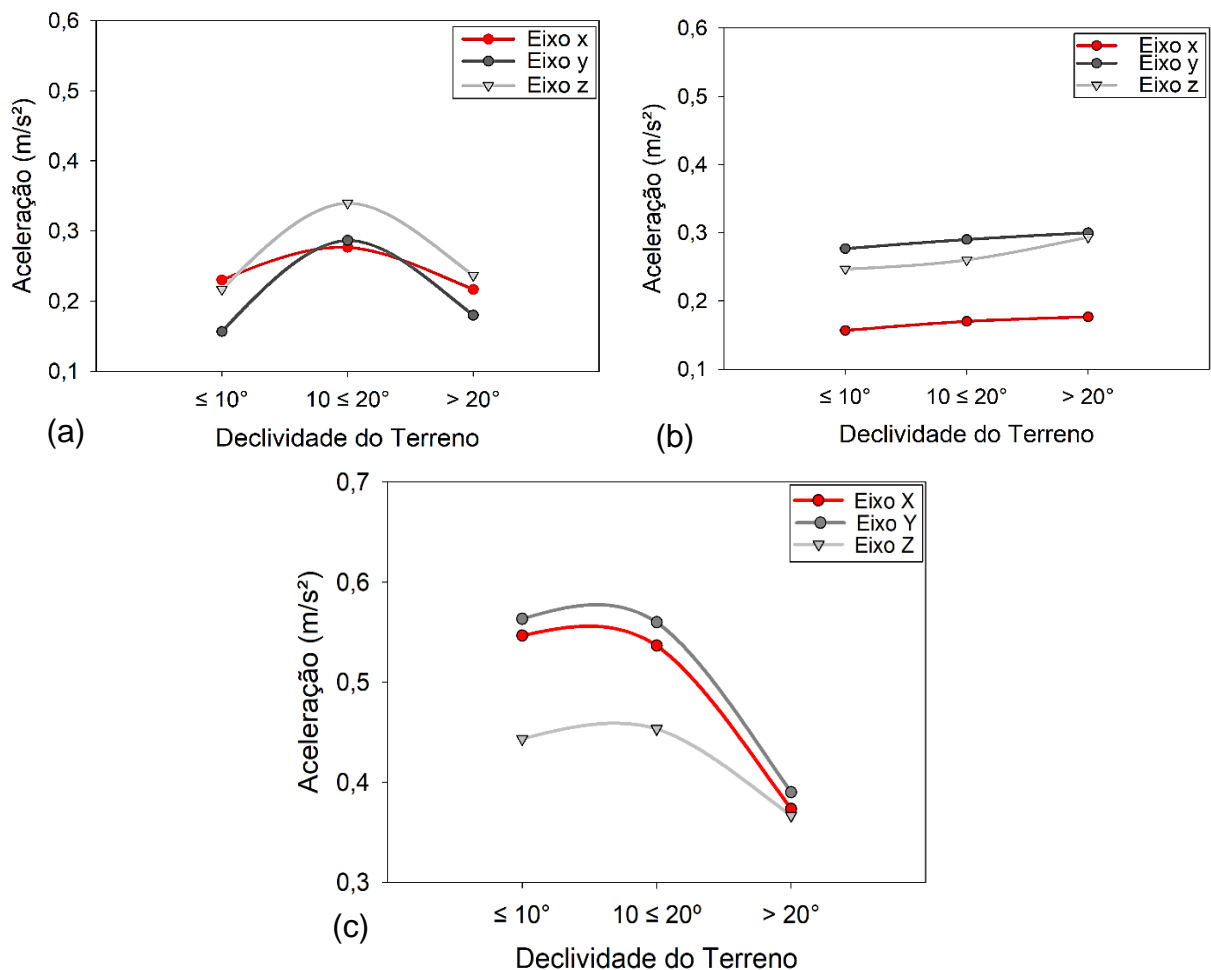


**Figura 15.** Padrão típico da VCI observado na operação de extração por arraste com *skidder* na classe de declividade. Sendo:  $D \leq 10^\circ$  (a),  $10 < D \leq 20^\circ$  (b),  $D > 20^\circ$  (c).

A atividade de extração com o *forwarder* apresentou um padrão descontínuo em alguns momentos em todas as classes de declividade do terreno (Figura 14), podendo ser explicado pela característica da operação que envolve momentos de deslocamentos da máquina e paradas para a realização do carregamento e descarregamento da madeira. Tal resultado apareceu em intervalos de tempo bem definidos, evidenciando essa característica da operação com padrões de vibração bem definidos para cada elemento parcial do ciclo operacional. É possível destacar que, os menores níveis de vibração observados podem ser associados aos momentos de carregamento e descarregamento da madeira, quando a máquina se encontrava estacionada sem movimentos, comparado aos maiores valores de vibração observados durante os deslocamentos da máquina no interior do talhão referente às viagens carregado e descarregado, explicado pelas irregularidades do terreno.

Na atividade de extração com o *skidder*, também obteve um padrão regular das vibrações nas três classes de declividade do terreno, tendo os valores de aceleração com os picos mais elevados que as demais máquinas em todas as etapas do ciclo operacional (Figura 15).

Na Figura 16 é possível identificar a magnitude da vibração nos diferentes eixos de direções do corpo do operador (x, y e z) para as atividades avaliadas nas três classes de declividade do terreno.



**Figura 16.** Aceleração média resultante nos três eixos de direção (X, Y, Z) nas diferentes classes de declividade do terreno. Sendo: corte com *harvester* (a), extração por baldeio com *forwarder* (b) e extração por arraste com *skidder* (c).

Neste estudo, durante a operação de corte com *harvester* o operador absorveu uma vibração mais elevada no sentido longitudinal, ou seja, de baixo para cima (eixo z), seguido do eixo x, de trás para frente, no plano sagital, e por fim, sendo menos elevada no eixo y, no sentido látero-lateral, sendo os maiores valores observados na declividade entre 10 e 20°. Quando a máquina alcançou a declividade acima de 20°,

em que as situações do terreno são mais críticas, a máquina passou a ficar instável dificultando a operação, levando o operador a executar a operação com a velocidade mais baixa, resultando em menores níveis de vibração. Os maiores níveis de vibração por eixo de direção encontrados neste estudo diferiram dos encontrados por Martins e Oliveira (2019), ao avaliar o corte de pinus com *harvester* de esteiras, em que os maiores valores observados foram nas direções x e z respectivamente.

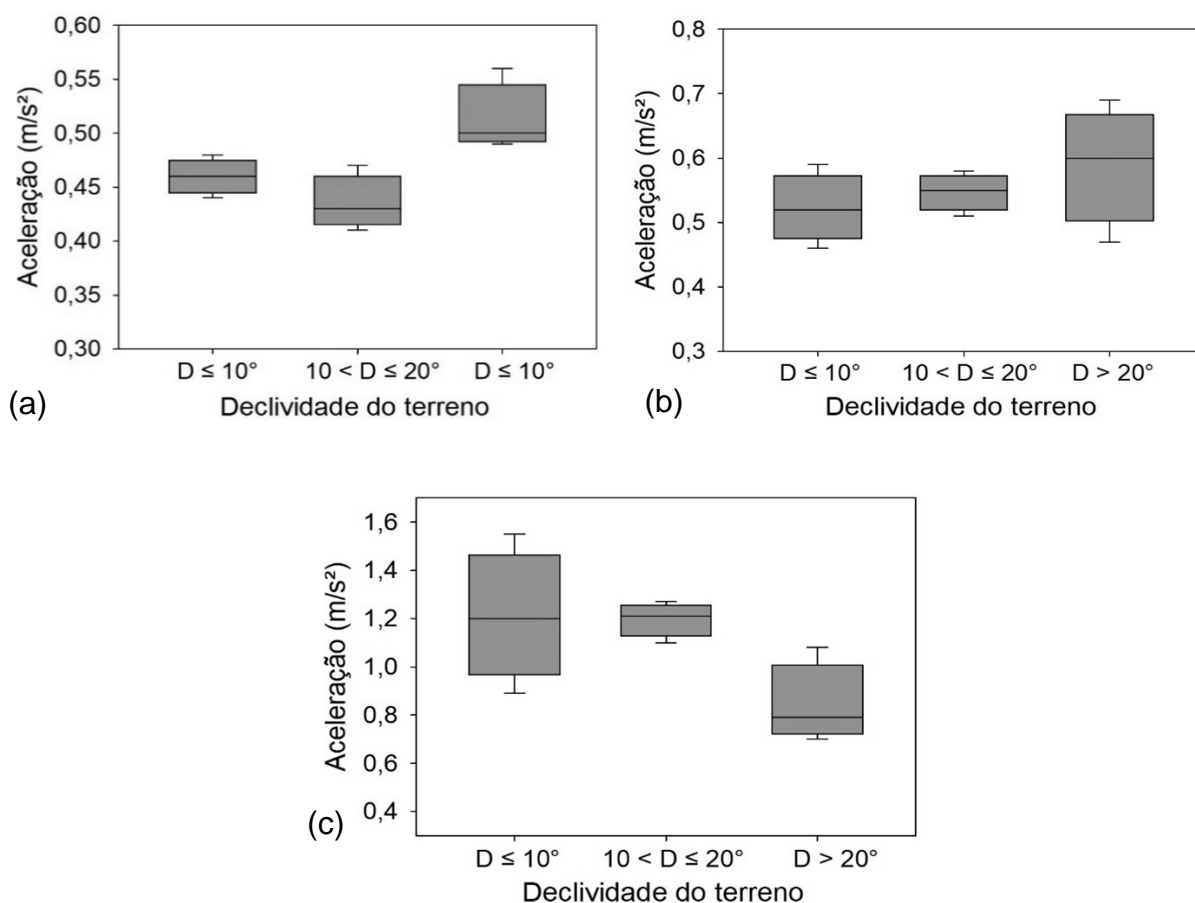
Na atividade de extração por baldeio com o *forwarder*, o eixo com os maiores valores foi o y, no sentido latero-lateral, seguido do eixo z no sentido longitudinal e em menores valores para o eixo x no sentido ântero-posterior, em que se observou um ligeiro aumento da vibração com aumento da declividade do terreno. Essa máquina possui uma característica operacional de realizar o deslocamento com baixa velocidade em parte do ciclo, enquanto em outras etapas, como no carregamento e descarregamento da madeira, trabalha de maneira estacionária. Tal resultado difere dos estudos de Stenlund et al. (2020) que encontrou os níveis de vibração mais elevados nos eixos x e y para a atividade de extração com *forwarder* na Suécia, avaliando a exposição da vibração, considerando diferentes operadores florestais.

Para a extração por arraste com o *skidder*, os maiores valores de vibração foram no sentido látero-lateral no eixo y, seguido do eixo x, sentido ântero-posterior e em menores valores para o eixo z, sendo que os valores mais elevados foram obtidos nas declividades até 20°, isto significa que, nas menores classe de declividade, a máquina conseguia se deslocar com maior velocidade, e conseqüentemente, realizava uma maior quantidade de ciclos operacionais nestas condições de terreno, enquanto que, nas maiores declividades houve uma redução dos níveis de vibração ocasionados provavelmente pela menor velocidade da operação e maior atenção por parte do operador devido às dificuldades operacionais nestas condições de terreno.

Almeida et al. (2015) ao avaliar a exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro em máquinas da colheita de madeira, além de constatar que o *skidder* apresentou os maiores níveis de aceleração ponderada comparativamente às demais máquinas avaliadas, constataram que o eixo y foi que apresentou os maiores níveis de vibração em quase todas as etapas operacionais da atividade, corroborando com os resultados deste estudo. No entanto, os autores destacam que, a direção da vibração pode ser influenciada por diversos fatores, tais como: condições do terreno (irregularidades), tocos, e movimentação dos equipamentos nas etapas operacionais.

Na Figura 17 é apresentado os resultados da aceleração média na exposição ocupacional à VCI das máquinas de corte e extração da madeira nas diferentes classes de declividade do terreno. Como pode ser visto, a operação de corte com *harvester*, apresentou níveis de aceleração equivalentes a 0,46, 0,46 e 0,48 m/s<sup>2</sup> nas três classes de declividade do terreno. Logo, se mantendo abaixo do nível de ação proposto pela Diretiva e Europeia, ou seja, dentro dos limites aceitáveis, não comprometimento da saúde do operador.

Uma das características que mais contribuiu para o baixo nível de vibração transmitida ao operador *harvester* foi o avançado sistema de controle e suspensão da máquina, que minimizava os impactos da operação, proporcionando baixos níveis de vibração. Além disso, seu design permitiu ao operador permanecer mais confortável e menos exposto aos efeitos das vibrações durante a jornada de trabalho, proporcionando uma atividade saudável e segura ao operador.



**Figura 17.** Aceleração média na exposição ocupacional à VCI em diferentes classes de declividade do terreno. Sendo: Corte com *harvester* (a), extração por baldeio com *forwarder* (b) e extração por arraste com *skidder* (c).

Na operação de extração por baldeio, o *forwarder* obteve uma aceleração correspondente a 0,52, 0,55, 0,59 m/s<sup>2</sup> nas três classes de declividade do terreno (Tabela 11). Observou-se um ligeiro aumento nos níveis de aceleração nas declividades mais elevadas, assim, quando comparado com os valores estabelecidos pelas normas, onde constatou-se que os valores ficaram acima do nível de ação. Tal resultado indicou a necessidade da adoção de medidas preventivas para que não ocorra o agravamento das condições, podendo citar o monitoramento da exposição, manutenção da máquina e suas partes móveis, envolvendo especialmente os sistemas de suspensão, assento do operador, troca de componentes desgastados, mantendo-os em bom estado de conservação.

Ao operar em terrenos inclinados, a máquina demonstrou um comportamento caracterizado pela transferência do peso da carga para a parte traseira quando em direção ao aclave (subida), e para a frente, no sentido do declive (descida). Esse deslocamento do peso resultou em instabilidade e oscilações, comprometendo o equilíbrio da máquina e dificultando o seu desempenho. Com isso, houve a necessidade de um maior acionamento dos freios e uma aceleração constante para manter a máquina em movimento, o que gerou variações nas forças transmitidas à cabine, ocasionando um aumento nos níveis de vibrações, que se mostraram mais intensos em terrenos irregulares e com maiores desníveis. Importante ressaltar que essas condições exigem uma adaptação constante por parte do operador, já que as oscilações podem afetar tanto a segurança quanto o conforto durante a operação, além de influenciar diretamente o desgaste dos componentes mecânicos da máquina.

Na extração por arraste com *skidder*, os níveis de aceleração ponderada mais elevados foram observados, com valores de 1,21, 1,19 e 0,86 m/s<sup>2</sup> nas três classes de declividade do terreno, respectivamente (Tabela 11). Nas menores classes de declividade, os níveis de aceleração ultrapassaram o limite de exposição recomendado, exigindo a adoção de medidas corretivas urgentes para mitigar os riscos à saúde dos trabalhadores. Essas medidas podem incluir a redução da velocidade de operação da máquina, o uso de sistemas de suspensão mais eficazes para diminuir os impactos, a implementação de pausas regulares para reduzir a carga de exposição e, se possível, a substituição por métodos de extração que envolvam menores níveis de vibração, como o uso de outras máquinas mais adequadas.

Por outro lado, na classe de declividade mais acentuada, os valores de aceleração ficaram acima do nível de ação, implicando na necessidade de, no mínimo, adotar ações preventivas. Isso poderá envolver o uso de assentos com sistemas de amortecimento, e treinamentos específicos para o controle da velocidade e do comportamento da máquina nestas condições de terreno. Além disso, é fundamental monitoramento constante dos níveis de vibração e realização de manutenções periódicas da máquina, garantindo a redução do risco de exposição excessiva. Essas medidas preventivas são essenciais para proteger a saúde do trabalhador e evitar problemas relacionados à exposição contínua a elevados níveis vibrações, que podem ocasionar problemas graves como distúrbios musculoesqueléticos e danos ao sistema circulatório.

Os resultados observados nas vibrações, com níveis mais elevados de aceleração durante a extração com *skidder* nas menores classes de declividade do terreno, podem ser explicados pela maior velocidade com que a máquina se desloca nessas condições. A aceleração mais alta durante o movimento resultou em impactos mais intensos ao passar por irregularidades no solo, gerando vibrações mais fortes. Por outro lado, em terrenos com declives mais acentuados, o operador tendeu a adotar um comportamento mais cauteloso, reduzindo a velocidade de deslocamento e controlando de forma mais eficaz os impactos, resultando em menores níveis de vibração. Ademais, em condições de terreno menos inclinados, a máquina conseguia realizar um número maior de ciclos operacionais, o que aumentava a exposição ocupacional à vibração. Esse aumento da exposição é relevante, pois, com mais ciclos operacionais, os operadores ficavam sujeitos a uma maior duração do contato com as vibrações, o que pode potencialmente resultar em efeitos mais adversos à saúde do operador ao longo do tempo.

Ao analisar os resultados obtidos neste estudo, destaca-se a pesquisa de Stanek e Mergl (2022), que investigaram a magnitude das vibrações de corpo inteiro durante a operação de colheita de madeira com *harvester*, observando a influência do volume do tronco processado. De acordo com o padrão ISO 2631-1:1997 e a Diretiva Europeia 2002/44/EC, foi constatado que a VCI, durante o deslocamento da máquina em terreno regular, apresentou um valor médio mais elevado, equivalente a  $0,79 \text{ m/s}^2$ . Nas outras etapas da operação, os valores médios das vibrações foram semelhantes aos encontrados neste estudo, permanecendo abaixo do nível de ação ( $0,31 \text{ m/s}^2$ ).

Martins et al. (2019), ao analisar a exposição à VCI em postos de trabalho de *harvesters* de esteiras e pneus na operação de desbaste de pinus, verificou que o valor médio dos níveis de vibração no *harvester* de esteiras ficou acima do nível de ação ( $0,6 \text{ m/s}^2$ ), enquanto no *harvester* de pneus, a aceleração ponderada foi equivalente a  $0,4 \text{ m/s}^2$ , valor abaixo do nível de ação proposto pelas normativas. Desse modo, esta pesquisa, apesar de considerar as declividades do terreno, a máquina manteve valores de VCI abaixo do nível de ação, demonstrando condição ideal para o desempenho da jornada de trabalho, sem prejudicar a saúde do operador.

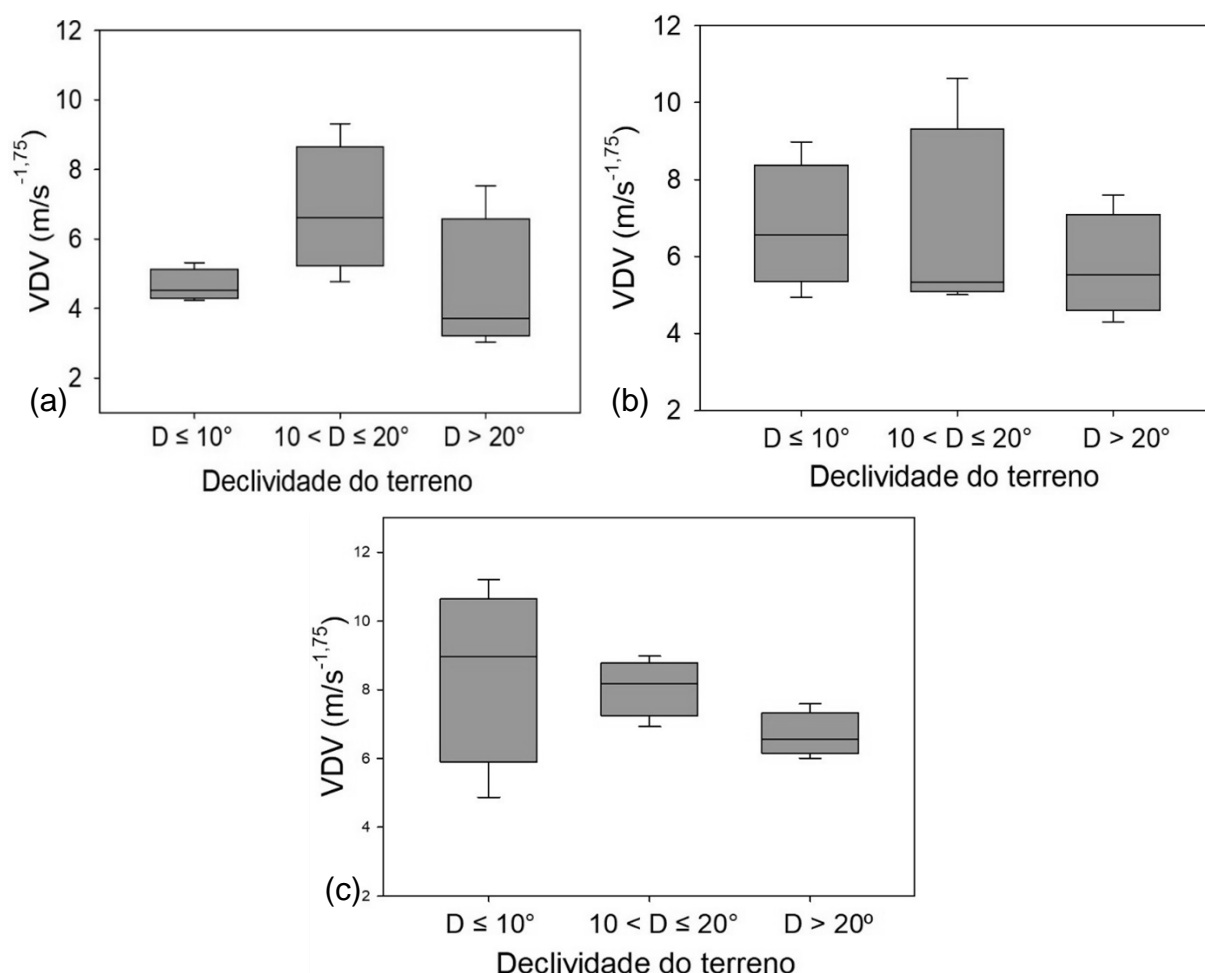
Lima et al. (2019), ao avaliar as operações de corte com quatro modelos de *harvesters* e três de *forwarders* em terrenos de baixa declividade, encontraram valores de vibração nas máquinas das operações de corte, sendo,  $0,27$ ,  $0,37$ ,  $0,33$  e  $0,37 \text{ m/s}^2$ , inferiores aos valores obtidos neste estudo. Na extração com os diferentes modelos de *forwarder*, os níveis de vibração foram  $0,38$ ,  $0,70$  e  $0,70 \text{ m/s}^2$ , sendo que duas das máquinas apresentaram valores superiores aos encontrados neste estudo. No entanto, nenhum dos modelos excederam o limite de exposição, indicando que, embora os níveis de vibração não tenham ultrapassado os limites regulamentares, é fundamental a adoção de medidas preventivas e corretivas para reduzir a exposição diária e garantir a saúde e segurança dos operadores a longo prazo.

Jankovski et al. (2016) avaliaram os fatores do ambiente de trabalho que influenciaram os operadores de *harvesters* e *forwarders*. Os resultados mostraram que a exposição média à vibração de corpo inteiro para os operadores de *harvester* foi de  $0,5 \text{ m/s}^2$ , enquanto para os operadores de *forwarder* foi de  $0,6 \text{ m/s}^2$ , um valor superior aos registrados para os *harvesters*. No caso do *forwarder*, o deslocamento da máquina pelo povoamento florestal pode intensificar a exposição à vibração, dado que essa etapa é mais prolongada em comparação com o *harvester* (Rottensteiner et al., 2013). No entanto, esses valores não ultrapassaram o limite de exposição estabelecidos pelas normas, assim como os resultados encontrados neste estudo.

Resultados obtidos neste estudo na extração com *forwarder* foram superiores aos obtidos por Butkus et al. (2020), que comparou a diferença na vibração de corpo inteiro no ciclo completo de extração em terreno regular, usando um *forwarder* com rodas, e com esteiras. Observaram valores inferiores aos obtidos neste estudo para a máquina com esteiras  $0,33 \text{ m/s}^2$  e com rodas sem esteiras que foi de  $0,46 \text{ m/s}^2$ , ou seja, ambos os valores, abaixo do nível de ação preconizados pela normativa.

Os valores da Dose de Vibração (VDV) média na exposição ocupacional à VCI das máquinas de corte e extração da madeira nas diferentes classes de declividade do terreno encontram-se na Figura 18, onde é possível verificar que o efeito da declividade do terreno não afetou significativamente os resultados para esta variável.

O corte com *harvester* apresentou valores VDV equivalente a 4,69  $m/s^{-1,75}$  na declividade até 10°, 7,16  $m/s^{-1,75}$  entre 10 a 20° e 4,76  $m/s^{-1,75}$  acima de 20° (Figura 18). A extração por baldeio com o *forwarder* exibiu valores para o VDV equivalente a 6,83  $m/s^{-1,75}$  até 10°, 6,89  $m/s^{-1,75}$  entre 10 a 20° e 5,81  $m/s^{-1,75}$  acima de 20° de declividade do terreno (Figura 18). Para a extração com *skidder*, os valores do VDV foram superiores as demais máquinas, sendo equivalente a 8,34  $m/s^{-1,75}$  até 10° de declividade do terreno, 8,03  $m/s^{-1,75}$  entre 10° a 20° e 6,72  $m/s^{-1,75}$  acima de 20°.



**Figura 18.** Valor da Dose de Vibração (VDV) na exposição ocupacional à Vibração de Corpo Inteiro (VCI). Sendo: Corte com *harvester* (a), extração e/ou baldeio com *forwarder* (b) e extração com *skidder* (c) em diferentes classes de declividade do terreno.

Em todas as máquinas avaliadas, o VDV esteve abaixo do nível de ação proposto pela norma. Apesar da extração com *skidder* ter obtido os valores mais elevados de vibração, o VDV se manteve abaixo do nível de ação, sendo que tal resultado pode ser explicado, devido que boa parte do percurso da máquina ser realizado por trilhas de tráfego que seguiam as curvas de nível do terreno.

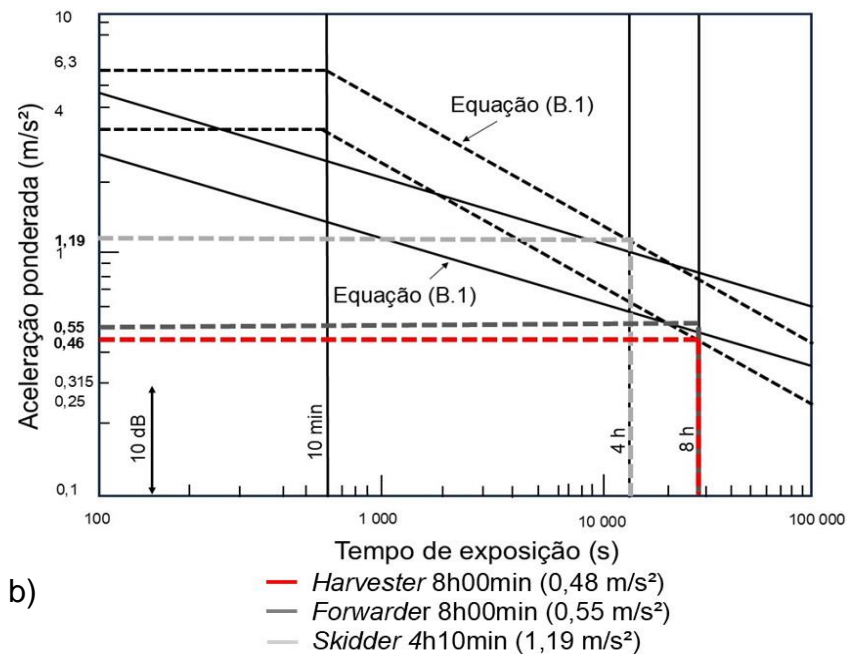
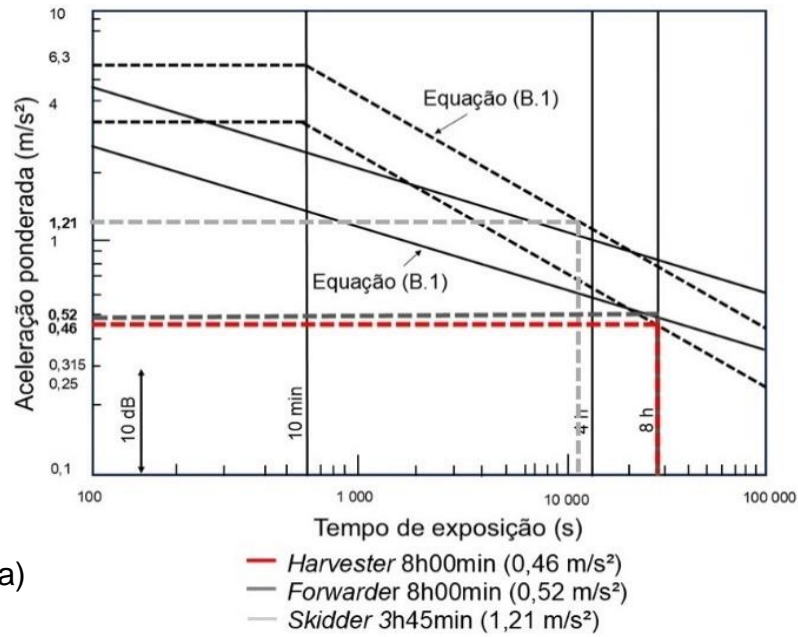
Desse modo, o *harvester* realizava o corte das árvores e organizava os feixes na margem das estradas, para posteriormente o *skidder* realizar o arraste. Dessa maneira, o *skidder* enfrentava menos obstáculos como tocos, pedras, raízes expostas, entre outros resíduos da colheita de madeira, contribuindo para a emissão de picos de vibração com menores amplitudes, e conseqüentemente, menores valores de VDV.

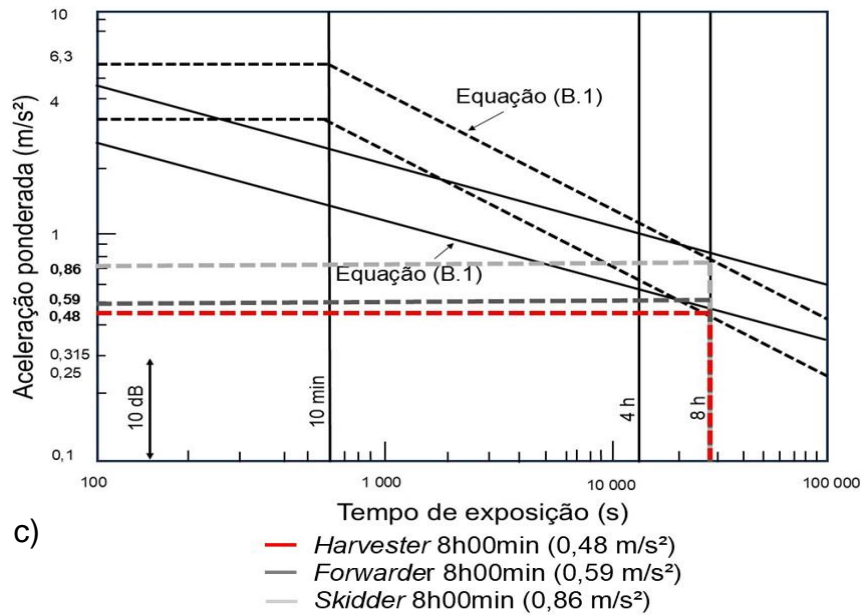
Lima et al. (2023) ao avaliarem a vibração de corpo inteiro na extração de madeira com *grapple skidder* em diferentes tempos de medição, alcançaram uma magnitude da vibração com menor tempo de medição, resultando em 0,417 m/s<sup>2</sup>, enquanto a medição durante toda a jornada foi equivalente a 0,696m/s<sup>2</sup>, resultados inferiores ao obtido neste estudo, que obteve 1,21, 1,19 e 0,86 m/s<sup>2</sup> nas três classes de declividade do terreno. No entanto, os valores de VDV foram superiores ao presente estudo, ficando acima do Limite de exposição (21,0 m/s<sup>2</sup>), estabelecidos pela Diretiva Europeia.

Em operações com *skidder*, Šušnjar et al. (2020) avaliaram a vibração de corpo inteiro em dois *skidders* em exploração madeireira na Croácia, em que um dos modelos das máquinas apresentou níveis de vibração excedendo o valor limite diário para VCI de 1,15 m/s<sup>2</sup>. Tal pesquisa, reafirma os resultados obtidos neste estudo, bem como a estudos realizados por Almeida et al. (2015), em que a avaliação do *skidder* resultou em uma magnitude de vibração equivalente de 1,95 m/s<sup>2</sup> e o VDV total encontrado foi de 7,01 m/s<sup>-1,75</sup>, abaixo da recomendação da ISO 2631-1:1997, desse modo os resultados obtidos neste estudo para a aceleração média foi menos intensa, no entanto, se mantendo acima do limite de exposição para as duas classes de declividades até 20°.

Na Figura 19 é possível observar a partir dos resultados de vibração obtidos nas operações florestais estudadas, a projeção das medições dos níveis de vibração equivalente, realizadas nos três modelos de máquinas participantes deste estudo, e os tempos máximos calculados através da equação de Griffin (1998), em comparação ao Gráfico do Anexo B da norma ISO 2631-1 (ISO, 1997). Para a avaliação do

potencial de riscos à saúde, foi considerado uma jornada de trabalho padrão de 8 horas diárias. Portanto, o nível ideal de exposição diária à vibração deve ser abaixo de  $0,43 \text{ m/s}^2$ , que é o limite inferior da zona de precaução. Além disso, deve permanecer abaixo de  $0,86 \text{ m/s}^2$ , que marca o limite superior dessa zona (Almeida et al., 2015).





**Figura 19.** Resultados da VCI projetados no gráfico guia da ISO 2631-1:2010 para o corte com *harvester*, extração por baldeio com *forwarder* e extração por arraste com *skidder*. Sendo:  $D \leq 10^\circ$  (a),  $10 < D \leq 20^\circ$  (b),  $D > 20^\circ$  (c).

Portanto, os resultados projetados conforme o anexo B da ISO 2631-1:1997, para uma jornada diária de trabalho de 8 horas, mostraram que, em todas as declividades estudadas, o *harvester* e o *forwarder* se mantiveram com os níveis de vibração dentro da zona de precaução, bem aproximados do limite inferior. Por outro lado, a vibração no *skidder*, atingiu o limite superior desta zona, sendo necessária a redução da jornada de trabalho para 3h45min na declividade até  $10^\circ$  e 4h10min na declividade entre  $10$  e  $20^\circ$ , acima de  $20^\circ$ , é necessário a adoção de medidas ergonômicas preventivas e corretivas para que não ultrapasse a zona de precaução.

De modo geral, o *harvester* por ter obtido os menores valores de vibração de acordo com a projeção, evidenciou-se que o operador poderá trabalhar com essa máquina durante toda a jornada de trabalho, sem comprometer a sua saúde, o que sugere que a vibração nessa atividade seja monitorada, devido riscos eventuais à saúde do operador, nas diferentes condições de declividade do terreno.

Na extração com o *forwarder*, os níveis de vibração por terem se mantidos no interior da zona ao longo da jornada de trabalho, sem ultrapassar a mesma, indicou a necessidade de monitoramento das atividades. Todavia, caso seja necessário, poderá

ser adotado medidas preventivas, evitando o surgimento e agravamento de possíveis riscos para a saúde do trabalhador.

Importante ressaltar que, o *skidder* apresentou os maiores níveis de aceleração ponderada em comparação às demais máquinas avaliadas. Tais resultados mostraram a importância de um monitoramento contínuo e, se viável, a implementação de ações preventivas imediatas, como por exemplo, a redução da jornada efetiva de trabalho, a rotatividade do trabalho, e a conservação e manutenção das máquinas.

Diante dos resultados obtidos para a avaliação da VCI, é importante ressaltar que os níveis de vibrações nas máquinas florestais podem ser afetados por vários elementos, que podem variar conforme a atividade a ser realizada, o tempo de vida útil e o peso da máquina, o tipo de rodado (esteira ou pneus), a potência do motor e os implementos. Além das condições do terreno, declividade, tocos e resíduos da colheita de madeira (Horn et al., 2007; Strandgard et al., 2014; Visser e Berkett, 2015; Schetino et al., 2019). Ademais, a presença e o tamanho dos tocos na área de colheita de madeira aumentam o impacto sobre os rodados das máquinas, especialmente aquelas que realizam a extração de madeira e circulam por todo o talhão florestal.

Portanto, a avaliação da propagação da VCI nas máquinas florestais utilizadas no corte e extração de madeira mecanizada pode ajudar as empresas florestais no planejamento de manutenções preventivas, além de diminuir o absentismo dos operadores devido as doenças ocupacionais, prevenindo a saúde segurança do trabalhador, de modo a proporcionar melhor desempenho e produtividade, além de evitar danos econômicos (Santos et al., 2019; Pitz et al., 2021).

## **6.2 Exposição ocupacional a vibração de mãos e braços (VMB)**

Os resultados das Vibrações de Mãos e Braços (VMB) nas atividades de corte com *harvester*, e nas operações de extração por baldeio e por arraste com *forwarder* e *skidder*, respectivamente, estão apresentados na Tabela 12. Na operação de corte com *harvester*, os níveis de aceleração ponderada nas três classes de declividade do terreno foram de 0,99, 0,88 e 0,90 m/s<sup>2</sup>, evidenciando uma variação nos valores de vibração dependendo das condições do terreno. Quanto à operação de extração com *forwarder*, os valores registrados foram de 1,52, 1,32 e 1,50 m/s<sup>2</sup> para as diferentes

classes de declividade, apresentando níveis mais elevados em comparação com os resultados do *harvester*.

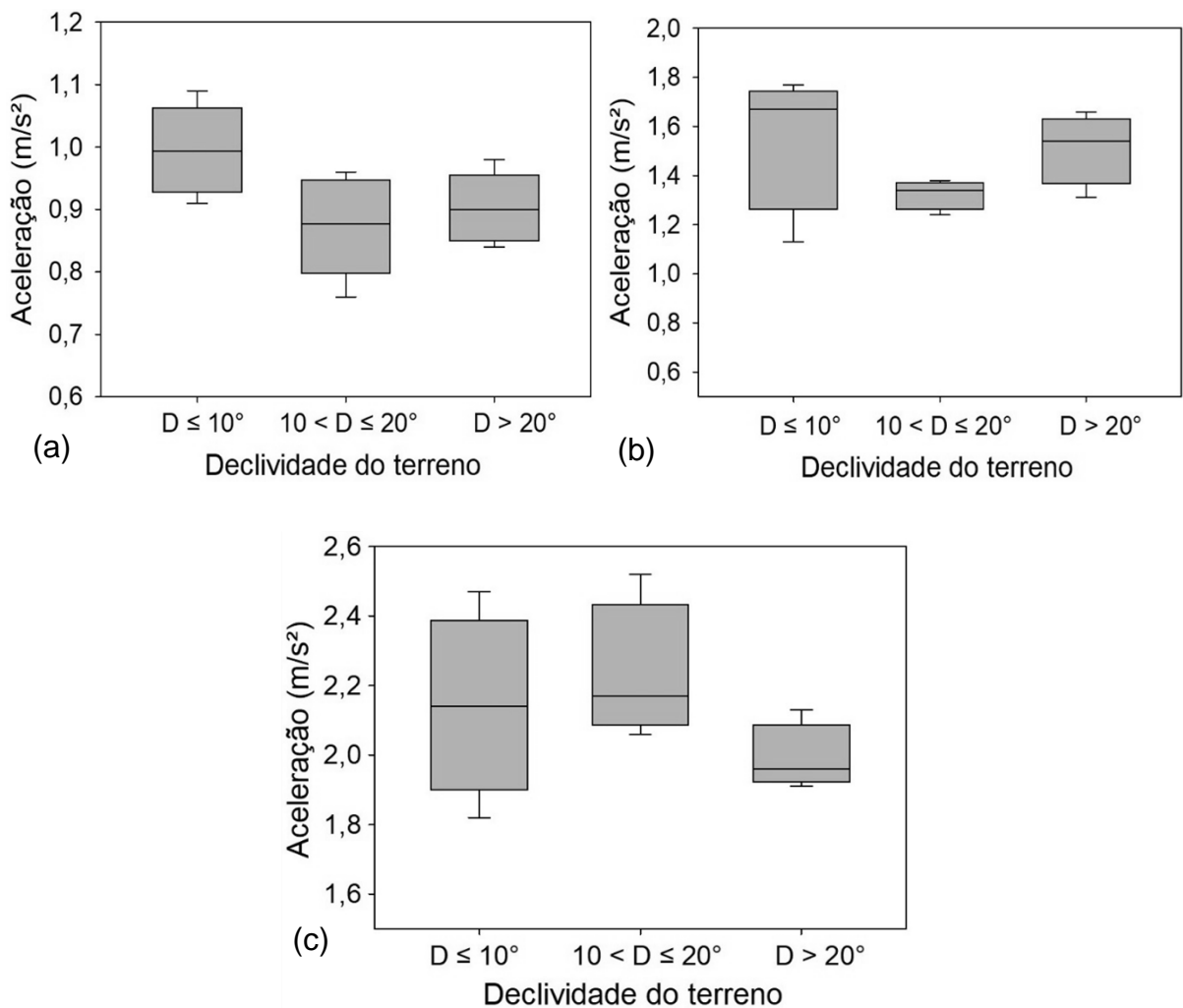
**Tabela 12.** Resultados de exposição ocupacional à Vibração de Mãos e Braços.

Máquinas (Atividade)	Declividade do Terreno (°)	A(8) (m/s <sup>2</sup> )
<i>Harvester</i> (Corte)	D ≤ 10	0,99 a
	DP	0,09
	CV	9,13
	10 < D ≤ 20	0,88 a
	DP	0,10
	CV	10,48
	D > 20	0,90 a
	DP	0,07
	CV	7,59
<i>Forwarder</i> (Extração por baldeio)	D ≤ 10	1,52 a
	DP	0,34
	CV	22,6
	10 < D ≤ 20	1,32 a
	DP	0,07
	CV	5,1
	D > 20	1,50 a
	DP	0,18
	CV	14,38
<i>Skidder</i> (Extração por arraste)	D ≤ 10	2,14 a
	DP	0,33
	CV	15,16
	10 < D ≤ 20	2,25 a
	DP	0,03
	CV	11,12
	D > 20	2,00 a
	DP	0,08
	CV	5,07

DP = Desvio Padrão, CV= Coeficiente de Variação. Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Por outro lado, a extração com *skidder* obteve os valores mais altos de aceleração, com 2,14, 2,25 e 2,00 m/s<sup>2</sup> nas três classes de declividade do terreno avaliadas. Apesar dos valores elevados observados, todos os resultados permaneceram abaixo do nível de ação estabelecido pela Diretiva Europeia 2002/44/EC, indicando que os níveis não ultrapassam os limites estabelecidos pelas normativas. No entanto, é importante destacar que, apesar de estarem dentro dos limites estabelecidos pelas normativas, a contínua exposição a essas vibrações pode levar a efeitos negativos à saúde dos operadores, o que demanda a implementação de medidas preventivas, para minimizar os riscos à saúde do trabalhador.

Os resultados indicaram que, os níveis de vibração para mãos e braços não foram impactados pelo efeito da declividade do terreno (Figura 20). Além disso, para todas as máquinas avaliadas, a magnitude da vibração se manteve aceitável em relação ao Nível de Ação e Limite de Exposição respectivamente (2,5 e 5,0  $m/s^2$ ). Portanto, considera-se que os níveis de vibrações emitidos para esses membros não prejudicam a saúde do operador, no entanto é imprescindível uma análise conjunta das vibrações (VCI e VMB), para a possível identificação de problemas relacionados a saúde do trabalhador.



**Figura 20.** Aceleração média na exposição ocupacional à Vibração de Mãos e Braços (VMB) em diferentes classes de declividade do terreno. Sendo: Corte com *harvester* (a), extração por baldeio com *forwarder* (b) e extração por arraste com *skidder* (c).

### 6.3 Análise postural

Na Tabela 13 estão apresentados os resultados posturais do operador obtidos pelas análises realizadas no software *Kinebot*® na operação de corte com *harvester* e seus respectivos níveis de ação e tempo de exposição conforme o método RULA. Ao analisar os resultados posturais do operador de *harvester*, verificou-se que dentre todos os membros e articulações do corpo humano, o pescoço foi a articulação mais comprometida, independente da declividade do terreno, com percentual do tempo de avaliação classificado como nível de ação 4, ou seja, de risco elevado e que requer correções posturais de imediato.

Os ombros e os cotovelos foram articulações bastante comprometidas, principalmente o ombro esquerdo, onde o operador na execução do trabalho na declividade inferior a 10°, permaneceu 72,01% e 25,87% do tempo de trabalho com angulações inadequadas referentes aos níveis de ação 2 e 3, respectivamente, ou seja, com risco médio a elevado à saúde do operador.

Na declividade entre 10 e 20°, o pescoço e o ombro esquerdo foram as articulações mais afetadas durante o trabalho, com o operador permanecendo 43,64% e 50,15% do tempo com o ombro, com uma angulação fora do eixo neutro, com risco leve a médio, enquanto em 5,95% do tempo com risco elevado para o pescoço, situação que poderá causar problemas à saúde do operador em curto prazo, especialmente ao extrapolar esse tempo para a jornada de trabalho diária e mensal. Na declividade acima de 20°, novamente as articulações do pescoço com 5,25% do tempo de permanência, acarretou risco elevado, e o ombro esquerdo com o operador permanecendo 88,54 e 10,44% do tempo de trabalho avaliado com tais articulações com riscos de leve a médio à saúde do operador.

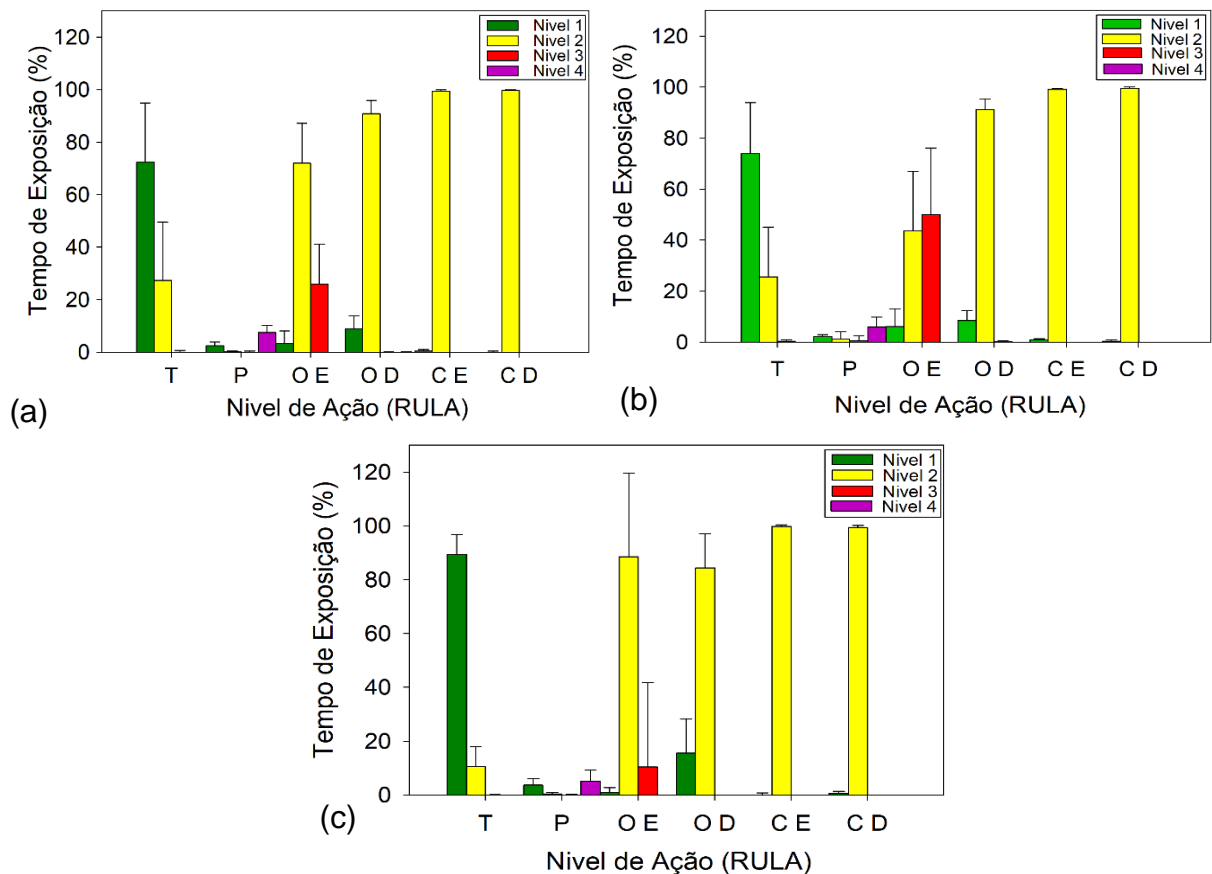
Importante ressaltar que, em todas as declividades do terreno, o operador permaneceu parte significativa do tempo de trabalho com todas as articulações, exceto o tronco, enquadradas no nível de ação 2, ou seja, com risco leve à saúde (Figura 21). Tal resultado, apesar de uma aparente situação normal de pouca preocupação, demonstrou a necessidade de maiores investigações dos procedimentos de trabalho para a devida correção postural, evitando maiores problemas à saúde do operador no longo prazo.

**Tabela 13.** Resultado da análise postural por segmento corporal do operador no corte com *harvester* nas diferentes classes de declividade do terreno.

Declividade	Articulação	Medidas descritivas	Tempo de permanência nos diferentes níveis de ação (%)			
			Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
D ≤ 10°	Tronco	Média	72,44	27,40	0,16	0
		DP	22,51	22,17	0,51	0
	Pescoço	Média	2,47	0,24	0,15	7,49
		DP	1,31	0,33	0,29	2,53
	Ombro Esquerdo	Média	3,43	72,01	25,87	0
		DP	4,70	15,16	15,24	0
	Ombro Direito	Média	9,03	90,87	0,06	0,07
		DP	4,89	5,03	0,19	0,22
	Cotovelo Esquerdo	Média	0,55	99,45	0	0
		DP	0,43	0,43	0	0
	Cotovelo Direito	Média	0,14	99,86	0	0
		DP	0,24	0,24	0	0
10 < D ≤ 20°	Tronco	Média	74,00	25,62	0,38	0
		DP	19,94	19,44	0,62	0
	Pescoço	Média	2,23	1,30	0,72	5,95
		DP	0,73	2,79	1,94	4,05
	Ombro Esquerdo	Média	6,22	43,64	50,15	0
		DP	6,87	23,35	25,95	0,00
	Ombro Direito	Média	8,58	91,19	0,23	0
		DP	3,80	4,10	0,38	0,00
	Cotovelo Esquerdo	Média	1,03	99,13	0	0
		DP	0,42	0,48	0	0
	Cotovelo Direito	Média	0,42	99,65	0	0
		DP	0,45	0,46	0	0
D > 20°	Tronco	Média	89,37	10,55	0,03	0
		DP	7,45	7,38	0,09	0
	Pescoço	Média	3,68	0,48	0,08	5,25
		DP	2,42	0,55	0,18	4,01
	Ombro Esquerdo	Média	1,07	88,54	10,44	0
		DP	1,72	31,06	31,38	0
	Ombro Direito	Média	15,57	84,40	0	0
		DP	12,66	12,72	0	0
	Cotovelo Esquerdo	Média	0,18	99,82	0	0
		DP	0,57	0,57	0	0
	Cotovelo Direito	Média	0,57	99,43	0	0
		DP	0,76	0,76	0	0

DP = Desvio Padrão

Em relação aos ombros e cotovelos, tal resultado pode ser explicado principalmente devido à movimentação do braço e antebraço do operador no manuseio do *joystick*, ultrapassando a angulação de neutralidade, e demonstrando, portanto, a necessidade de maiores investigações e/ou alterações imediatas no trabalho. Já o fato de a articulação do ombro esquerdo do operador ter permanecido parte do tempo de trabalho com risco médio, ou seja, nível de ação 3, pode ser explicado devido aos constantes movimentos de extensão e recuo do braço e antebraço para empurrar o *joystick* esquerdo, que possui a função de movimentação do cabeçote para frente e para trás, para o lado direito e esquerdo em direção ao tronco da árvore, necessário para realização do corte das árvores.



**Figura 21.** Tempo de exposição dos membros e articulações corporais do operador de *harvester* obtidos através do *Kinebot* na operação de corte nas classes de declividade do terreno. Sendo:  $D \leq 10^\circ$  (a),  $10^\circ < D \leq 20^\circ$  (b),  $D > 20^\circ$  (c).

Legenda: Segmentos Corporais: Tronco (T), Pescoço (P); Ombro Esquerdo (OE), Ombro Direito (OD), Cotovelo Esquerdo (CE), Cotovelo Direito (CD).

Uma solução eficiente para diminuir a exigência do ombro esquerdo, juntamente com braço e antebraço, e conseqüentemente, a situação de desconforto, no *harvester*, seria a redistribuição dos comandos, em vez de concentrar muitas funções no *joystick* do lado esquerdo, onde geralmente é a mão dominante de muitos operadores, sendo que uma redistribuição poderia ser feita para equilibrar as funções entre as mãos, minimizando o desgaste físico e a sobrecarga do ombro esquerdo.

Na operação de corte com *harvester* foram identificadas três posturas típicas adotadas pelo operador nas diferentes atividades do ciclo operacional sendo as seguintes: Deslocamento (DE), Busca e Corte (BC) e Processamento (PR), conforme demonstrados a seguir na Figura 22.




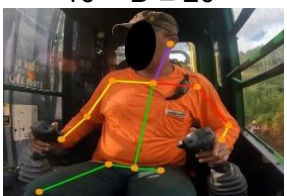

**Figura 22.** Posturas típicas adotadas pelo operador *harvester* na operação de corte. Sendo: Deslocamento (a), Busca e Corte (b) e Processamento (c).

Em geral, notou-se que o operador realizava posturas que poderiam prejudicar sua saúde. As posturas típicas registradas durante as fases parciais do ciclo operacional revelaram que apenas o tronco se beneficiou dessa situação. Contudo, a articulação do pescoço, mesmo com o reduzido percentual de tempo classificado

como nível de ação 4 (alto risco), representou uma situação alarmante, que pode resultar em prejuízos à saúde no futuro. Adicionalmente, ao longo das análises, notou-se um movimento contínuo da cabeça do operador para cima e para baixo, com o objetivo de melhorar a visão da base da árvore para o corte e a projeção de sua queda, além de uma movimentação do tronco.

Na Tabela 14, são apresentados os valores relativos ao tempo em que o operador permaneceu nos níveis de ação 2, 3 e 4, que correspondem a condições de desconforto estabelecidas para a jornada de trabalho efetiva. A partir dos resultados no corte com *harvester*, observou-se que o operador trabalhou 92min, 181min e 38min com o ombro esquerdo em uma condição de risco médio, com posições de cerca de 50° além da posição neutra, em todas as três classes de declividade do terreno.

**Tabela 14.** Percentual de exposição determinado para as horas efetivas de trabalho no corte com *harvester*.

Postura Declividade	Articulações	Tempo de exposição (%)				Tempo de Exposição (min)			
		Níveis de Ação				Níveis de Ação			
		2	3	4	Total	2	3	4	Total
$D \leq 10^\circ$ 	Tronco	27	0	0	<b>28</b>	99	1	0	<b>99</b>
	pescoço	0	0	7	<b>8</b>	1	1	27	<b>28</b>
	Ombro Esq.	72	26	0	<b>98</b>	259	92	0	<b>351</b>
	Ombro Dir.	91	0	0	<b>91</b>	327	0	0	<b>328</b>
	Cotovelo Esq.	99	0	0	<b>99</b>	358	0	0	<b>358</b>
	Cotovelo Dir.	100	0	0	<b>100</b>	360	0	0	<b>360</b>
$10 < D \leq 20^\circ$ 	Tronco	26	0	0	<b>26</b>	92	1	0	<b>94</b>
	pescoço	1	1	6	<b>8</b>	5	3	21	<b>29</b>
	Ombro Esq.	44	50	0	<b>94</b>	157	181	0	<b>338</b>
	Ombro Dir.	91	0	0	<b>91</b>	328	1	0	<b>329</b>
	Cotovelo Esq.	99	0	0	<b>99</b>	357	0	0	<b>357</b>
	Cotovelo Dir.	100	0	0	<b>100</b>	359	0	0	<b>359</b>
$D > 20^\circ$ 	Tronco	11	0	0	<b>11</b>	38	0	0	<b>38</b>
	pescoço	0	0	5	<b>6</b>	2	0	19	<b>21</b>
	Ombro Esq.	89	10	0	<b>99</b>	319	38	0	<b>356</b>
	Ombro Dir.	84	0	0	<b>84</b>	304	0	0	<b>304</b>
	Cotovelo E.	100	0	0	<b>100</b>	359	0	0	<b>359</b>
	Cotovelo Dir.	99	0	0	<b>99</b>	358	0	0	<b>358</b>

O pescoço também foi significativamente impactado. Embora o risco tenha variado entre médio e elevado, correspondendo ao nível de ação 4, o tempo com essa condição foi relativamente pequeno. Quando analisado durante a jornada de trabalho

efetiva, o pescoço ficou em posições inadequadas de 30 a 40° fora da linha neutra com 7, 6 e 5% do tempo total da jornada efetiva, equivalendo a 28 min, 29 min e 21 min nas três classes de declividade avaliadas.

Os resultados posturais do operador de *forwarder* na atividade de extração e/ou baldeio obtidos por meio do software *Kinebot*® e seus respectivos níveis de ação e tempo de exposição conforme o método RULA estão apresentados na Tabela 15. Ao analisar os resultados, verificou-se que o pescoço foi a articulação mais comprometida, independente da declividade do terreno, com percentual do tempo de avaliação classificado como nível de ação 4, ou seja, com risco elevado e requerendo correções posturais de imediato.

Na declividade do terreno de até 10°, o pescoço, os ombros e os cotovelos foram articulações mais comprometidas pelo trabalho, onde o operador permaneceu 6,9% do tempo com a articulação do pescoço com uma angulação fora do eixo neutro, enquadrada com nível de ação 4, ou seja, com elevado risco à saúde. Na sequência, observou-se a articulação do ombro esquerdo, onde o operador na execução do trabalho, permaneceu 6,9% do tempo com uma angulação inadequada, classificado como nível de ação 4, enquanto 61,64% e 4,22% do tempo no nível 2 e 3. Já o ombro direito esteve 73,85% e 4,28% do tempo de trabalho com angulações inadequadas referentes aos níveis de ação 2 e 3, respectivamente, ou seja, com risco leve e médio à saúde do operador. Na declividade entre 10 e 20°, o pescoço permaneceu 1,44% do tempo no nível de ação 4, ou seja, no nível mais crítico, seguido do ombro direito em que o operador permaneceu 27,43%, 3,79% nos níveis de ação 2 e 3, com tais angulações, respectivamente, em posição inadequada, com risco leve a médio de causar problemas à saúde do operador.

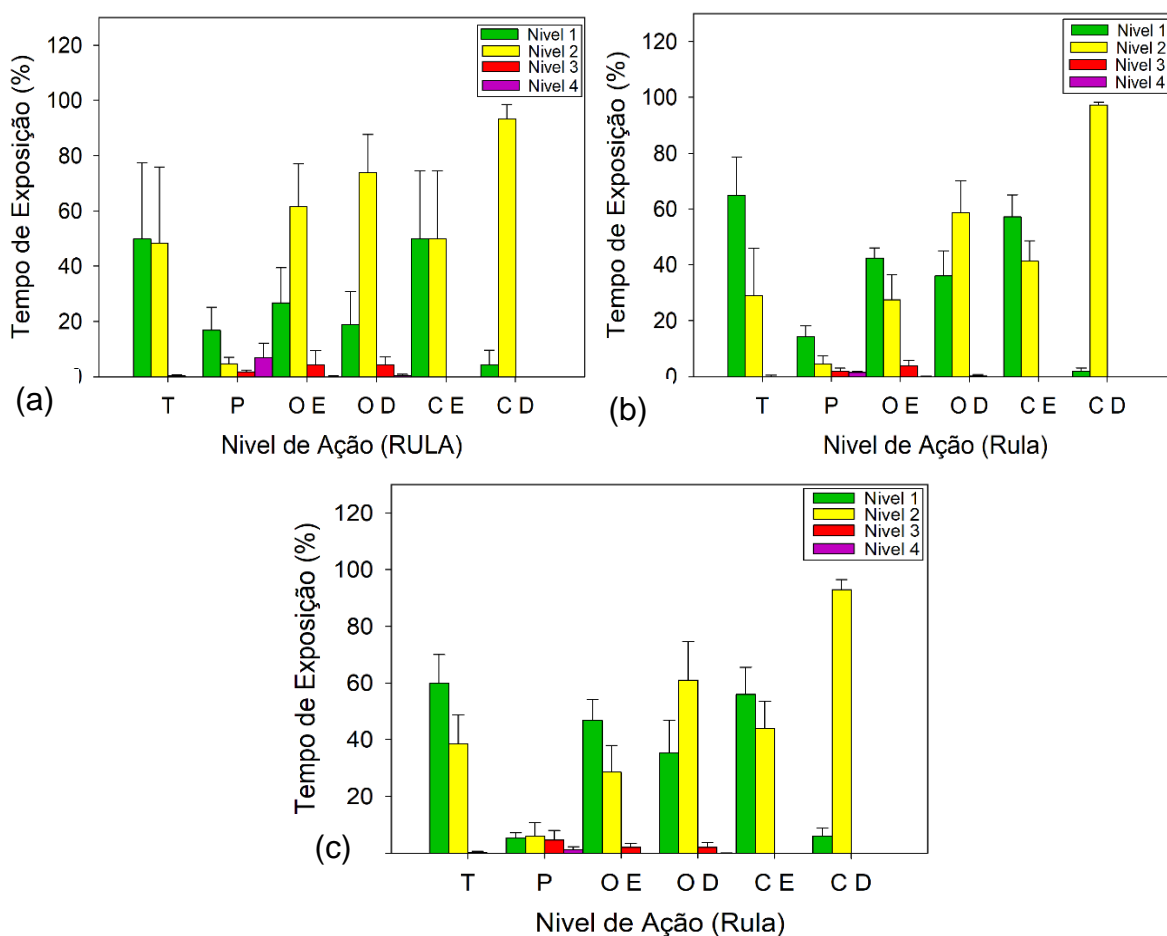
Na declividade acima de 20°, novamente as articulações do pescoço, tronco e ombro esquerdo foram as mais afetadas, com o operador permanecendo 1,15% do tempo com o pescoço com uma angulação totalmente inadequada, classificada como nível de ação 4. Em seguida, observou-se que o tronco com 38,46 e 0,29% do tempo de permanência e o ombro direito com 28,53% e 2,05% do tempo estiveram com angulações inadequadas dentro dos níveis de ação 2 e 3, ou seja, com risco leve a médio à saúde do operador.

**Tabela 15.** Resultado da análise postural por segmento corporal do operador na extração com *forwarder* nas diferentes classes de declividade do terreno.

Declividade	Articulação	Medidas descritivas	Tempo de permanência nos diferentes níveis de ação (%)			
			Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
D ≤ 10°	Tronco	Média	49,82	48,45	0,29	0
		DP	27,73	27,53	0,32	0
	Pescoço	Média	16,87	4,73	1,72	6,9
		DP	8,24	2,29	0,64	5,22
	Ombro Esquerdo	Média	26,76	61,64	4,22	0,1
		DP	12,66	15,41	5,28	0,22
	Ombro Direito	Média	18,93	73,85	4,28	0,42
		DP	11,88	13,81	2,88	0,47
	Cotovelo Esquerdo	Média	49,88	49,83	0	0
		DP	24,61	24,66	0	0
	Cotovelo Direito	Média	4,25	93,36	0	0
		DP	5,32	5,22	0	0
10 < D ≤ 20°	Tronco	Média	64,97	28,93	0,18	0
		DP	13,67	17,06	0,24	0
	Pescoço	Média	14,29	4,43	1,83	1,44
		DP	3,80	3,02	1,11	0,44
	Ombro Esquerdo	Média	42,43	27,43	3,79	0,03
		DP	3,60	9,01	1,95	0,05
	Ombro Direito	Média	36,01	58,7	0,33	0
		DP	8,95	11,43	0,32	0
	Cotovelo Esquerdo	Média	57,15	41,25	0	0
		DP	7,97	7,35	0	0
	Cotovelo Direito	Média	1,84	97,28	0	0
		DP	1,20	1,08	0	0
D > 20°	Tronco	Média	59,99	38,46	0,29	0
		DP	10,03	10,29	0,36	0
	Pescoço	Média	5,36	6,01	4,56	1,15
		DP	1,78	4,73	3,42	1,06
	Ombro Esquerdo	Média	46,81	28,53	2,05	0
		DP	7,37	9,45	1,35	0
	Ombro Direito	Média	35,43	61,08	2,08	0,02
		DP	11,40	13,49	1,67	0,06
	Cotovelo Esquerdo	Média	55,99	43,97	0	0
		DP	9,59	9,57	0,00	0
	Cotovelo Direito	Média	5,95	93	0	0
		DP	2,89	3,50	0	0

DP = Desvio Padrão.

É relevante destacar que, em todas as declividades do terreno, o operador passou grande parte do tempo de trabalho com todas as articulações classificadas como nível de ação 2, exceto o pescoço e ombro direito, representando um risco leve à saúde (Figura 23). Apesar de parecer uma situação de pouca preocupação, os resultados demonstram a necessidade de maiores investigações dos procedimentos de trabalho para a devida correção postural, evitando maiores problemas à saúde do operador a longo prazo.



**Figura 23.** Tempo de exposição dos membros e articulações corporais do operador de *forwarder* obtidos através do *Kinebot* na operação de extração e/ou baldeio nas classes de declividade do terreno. Sendo:  $D \leq 10^\circ$  (a),  $10 < D \leq 20^\circ$  (b),  $D > 20^\circ$  (c).

Legenda: Segmentos Corporais: Tronco (T), Pescoço (P); Ombro Esquerdo (OE), Ombro Direito (OD), Cotovelo Esquerdo (CE), Cotovelo Direito (CD).

Quanto aos resultados em relação ao pescoço, tronco e ombros, observou-se uma constante movimentação da cabeça do operador estendendo-se e flexionando para realizar o carregamento e descarregamento das toras, e ao mesmo

tempo, rotacionando o pescoço para observar a garra carregando e descarregando a caixa de carga, mesmo a máquina possuindo rotação da cabine. Portanto, o resultado mostrou que essas atividades necessitavam do movimento de torção tronco e do pescoço, e dos movimentos de extensão e flexão para visualização da garra realizando a atividade, enquanto para os ombros e cotovelo ocorreram devido a movimentação do braço e antebraço para acionamento dos comandos dos *joysticks* da máquina.

Na operação de extração e/ou baldeio das toras com *forwarder* foram identificadas seis posturas típicas adotadas pelo operador nas diferentes atividades do ciclo operacional sendo as seguintes: Deslocamento Vazio (DV), Carregamento (CR) que observou-se duas posturas típicas, no carregamento da tora na pilha e carregamento da tora na caixa de carga, Deslocamento Carregado (DC), Descarregamento (DR) com duas posturas típicas, retirando a tora da caixa de carga e Descarregamento colocando as toras na pilha (Figura 24).

De maneira geral, observou-se que, durante a extração por baldeio com o *forwarder*, o operador frequentemente adotava posturas que poderiam comprometer sua saúde a longo prazo. As posturas típicas registradas ao longo das diferentes etapas do ciclo operacional indicaram que, embora o tronco e o cotovelo esquerdo tenham permanecido por mais tempo em condições posturais mais favoráveis, a maioria das articulações durante as atividades parciais mostraram-se desconfortáveis para o bem-estar do operador.

No entanto, a articulação do pescoço, apesar do baixo percentual de tempo enquadrado no nível de ação 4 (risco elevado), trata-se de uma situação preocupante, podendo acarretar danos à saúde dos operadores no futuro. Além disso, durante as análises observou-se uma constante torção do pescoço para o lado, uma vez que as pilhas de madeira ficavam na margem da estrada e a máquina parava ao lado para realizar o carregamento. Também foi observado constantes movimentos da cabeça do operador para cima e para baixo, devido à necessidade de obter uma melhor visualização da garra durante o carregamento e descarregamento da madeira.






**Figura 24.** Posturas típicas adotadas pelo operador de *forwarder* na extração da madeira. Sendo: Deslocamento vazio (a), Carregamento da tora na pilha (b), Carregamento da tora na caixa de carga (c), Deslocamento carregado (d), Descarregamento retirando a tora da caixa de carga (e), Descarregamento colocando as toras na pilha (f).

Na Tabela 16, estão apresentados os valores relativos ao tempo de permanência do operador de *forwarder* em cada nível de risco, considerando as horas efetivas de trabalho. Os resultados indicam que, na declividade de até 10°, o pescoço permaneceu em uma angulação de aproximadamente 40° fora da posição neutra, por cerca de 7% do tempo, classificado como risco elevado, totalizando 25 minutos da

jornada efetiva de trabalho. Em seguida, o ombro direito e esquerdo ficou 66 e 79% do tempo total de exposição, respectivamente, na mesma declividade de até 10°, com risco classificado como leve a médio. Isso representa mais de 50% da jornada efetiva de trabalho, totalizando aproximadamente 237min para o ombro direito e 283min para o ombro esquerdo, em situações de desconforto postural ao longo da jornada.

**Tabela 16.** Percentual de exposição determinado para as horas efetivas de trabalho na extração por baldeio com *forwarder*.

Postura Declividade	Articulações	Tempo de exposição (%)				Tempo de Exposição (min)			
		Níveis de Ação				Níveis de Ação			
		2	3	4	Total	2	3	4	Total
 D ≤ 10°	Tronco	48	0	0	<b>49</b>	174	1	0	<b>175</b>
	pescoço	5	2	7	<b>13</b>	17	6	25	<b>48</b>
	Ombro Esq.	62	4	0	<b>66</b>	222	15	0	<b>237</b>
	Ombro Dir.	74	4	0	<b>79</b>	266	15	2	<b>283</b>
	Cotovelo Esq.	50	0	0	<b>50</b>	179	0	0	<b>179</b>
	Cotovelo Dir.	93	0	0	<b>93</b>	336	0	0	<b>336</b>
 10 < D ≤ 20°	Tronco	29	0	0	<b>29</b>	104	1	0	<b>105</b>
	pescoço	4	2	1	<b>8</b>	16	7	5	<b>28</b>
	Ombro Esq.	27	4	0	<b>31</b>	99	14	0	<b>113</b>
	Ombro Dir.	59	0	0	<b>59</b>	211	1	0	<b>213</b>
	Cotovelo Esq.	41	0	0	<b>41</b>	149	0	0	<b>149</b>
	Cotovelo Dir.	97	0	0	<b>97</b>	350	0	0	<b>350</b>
 D > 20°	Tronco	38	0	0	<b>39</b>	138	1	0	<b>140</b>
	pescoço	6	5	1	<b>12</b>	22	16	4	<b>42</b>
	Ombro Esq.	29	2	0	<b>31</b>	103	7	0	<b>110</b>
	Ombro Dir.	61	2	0	<b>63</b>	220	7	0	<b>227</b>
	Cotovelo Esq.	44	0	0	<b>44</b>	158	0	0	<b>158</b>
	Cotovelo Dir.	93	0	0	<b>93</b>	335	0	0	<b>335</b>

Landekić et al. (2019) analisaram a postura de trabalho dos operadores de *harvester* e *forwarder* no desbaste florestal, onde verificaram que apenas 1,19% do tempo de permanência da postura do operador foi classificada como categoria de ação 3. Em contrapartida, 82,14% das posturas observadas no operador de *harvester* foram categorizadas como posturas normais e 17,86% como posturas de baixo risco durante a atividade laboral. Conforme o método REBA, a classificação da postura do operador do *forwarder* revelou uma postura de baixo risco em todas as fases parciais das operações de trabalho.

Oliveira et al. (2023) analisaram a postura de operadores *harvester* com gruas de acoplamento frontal e lateral durante operações de corte raso em plantações de eucalipto. Na avaliação postural, o operador com grua de acoplamento lateral apresentou escore 3 e nível de ação 2. Por outro lado, o operador com grua de acoplamento frontal exibiu escore 2 e nível de ação 1. Sendo posturas aceitáveis, desde que não sejam executadas por períodos prolongados ou repetidos. No modelo do *harvester* com guindaste lateral, identificaram-se duas posturas comuns adotadas pelos operadores com pontuação 3. Isso sugere que as posturas adotadas necessitam de mais estudo e possíveis modificações.

Paini et al. (2019), examinaram o movimento repetitivo e a postura de operadores de máquinas durante operações de corte e processamento de madeira mecanizada com *harvester*, utilizando os métodos REBA e RULA. Os resultados indicaram que, durante o processamento de madeira, a coluna vertebral e o pescoço foram as áreas mais impactadas, indicando um risco postural médio e a necessidade de investigações e alterações rápidas, conforme indicado pelos métodos REBA e RULA, respectivamente. Além da alta repetitividade, que indica um elevado risco de Lesões por Esforços Repetitivos (LERs) e Distúrbios Musculoesqueléticos (DMEs) nos operadores, ressaltando-se a necessidade de aprimoramentos ergonômicos para melhorar as condições de conforto e saúde desses operadores.

Na Tabela 17, é possível observar os resultados da análise postural obtidos através do software *Kinebot*® para atividade de extração por arraste com *skidder* nas três classes de declividade do terreno. Ao analisar os resultados posturais do operador de *skidder*, verificou-se que, dentre todos os membros e articulações, o tronco, pescoço, os ombros foram aqueles mais afetadas em todas as classes de declividade do terreno, com potenciais riscos de desconforto postural e de lesões no futuro (Figura 25).

Na declividade até 10°, o pescoço permaneceu 8,48%, 52,79% e 2,09% do tempo de trabalho avaliado e o ombro direito com 1,80%, 94,66% e 2,66% do tempo de trabalho com angulações fora da região neutra, estando classificadas nos níveis de ação 2, 3 e 4, respectivamente, ou seja, com risco leve a elevado à saúde do operador, demonstrando, portanto, a necessidade de maiores investigações e adoção de medidas corretivas na execução do trabalho.

**Tabela 17.** Resultado da análise postural por segmento corporal do operador na extração com *skidder* nas diferentes classes de declividade do terreno.

Declividade	Articulação	Medidas descritivas	Tempo de permanência nos diferentes níveis de ação (%)			
			Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
D ≤ 10°	Tronco	Média	79,69	17,34	2,99	0
		DP	23,79	18,82	5,10	0
	Pescoço	Média	7,56	8,48	52,79	2,09
		DP	2,66	2,26	13,80	2,16
	Ombro Esquerdo	Média	13,97	73,72	12,29	0
		DP	4,95	3,68	2,56	0
	Ombro Direito	Média	0,73	1,80	94,66	2,66
		DP	1,44	1,78	2,32	1,62
	Cotovelo Esquerdo	Média	8,45	91,31	0	0
		DP	3,73	4,04	0	0
	Cotovelo Direito	Média	5,87	93,79	0	0
		DP	5,93	6,12	0	0
10 < D ≤ 20°	Tronco	Média	33,81	54,46	11,42	0
		DP	10,64	12,38	5,69	0
	Pescoço	Média	10,65	8,85	46,31	2,55
		DP	6,06	2,07	12,76	3,03
	Ombro Esquerdo	Média	16,67	69,90	13,04	0,18
		DP	9,45	9,63	12,41	0,47
	Ombro Direito	Média	1,01	4,51	81,01	13,38
		DP	1,33	4,59	12,90	15,26
	Cotovelo Esquerdo	Média	9,43	90,33	0,01	0
		DP	7,13	7,40	0,03	0
	Cotovelo Direito	Média	1,82	98,14	0	0
		DP	1,79	1,81	0	0
D > 20°	Tronco	Média	86,51	11,67	0,72	0,00
		DP	7,61	7,45	0,95	0,00
	Pescoço	Média	9,81	10,72	37,16	3,37
		DP	2,28	4,03	9,12	1,46
	Ombro Esquerdo	Média	14,82	76,78	7,25	0,06
		DP	3,97	6,75	4,44	0,11
	Ombro Direito	Média	3,94	14,17	79,90	0,68
		DP	8,05	28,80	29,95	0,96
	Cotovelo Esquerdo	Média	5,89	93,93	0	0
		DP	6,48	6,51	0	0
	Cotovelo Direito	Média	3,65	92,96	0	0
		DP	3,66	9,13	0	0

DP = Desvio Padrão.

Na declividade entre 10 a 20°, o tronco esteve com 54,46% e 11,42% do tempo de exposição com as articulações fora do eixo neutro classificadas nos níveis de ação 2 e 3, ou seja, com risco leve a médio à saúde do operador. O pescoço esteve 8,85%, 46,31% e 2,55% do tempo com uma angulação inadequada, e logo em seguida, destacou-se o ombro esquerdo com 69,90%, 13,04% e 0,18% do tempo e o ombro direito com 14,17%, 79,90% e 0,68% do tempo de exposição com as articulações comprometidas classificadas como níveis de ação 2, 3 e 4, com risco de leve a elevado a saúde do trabalhador.

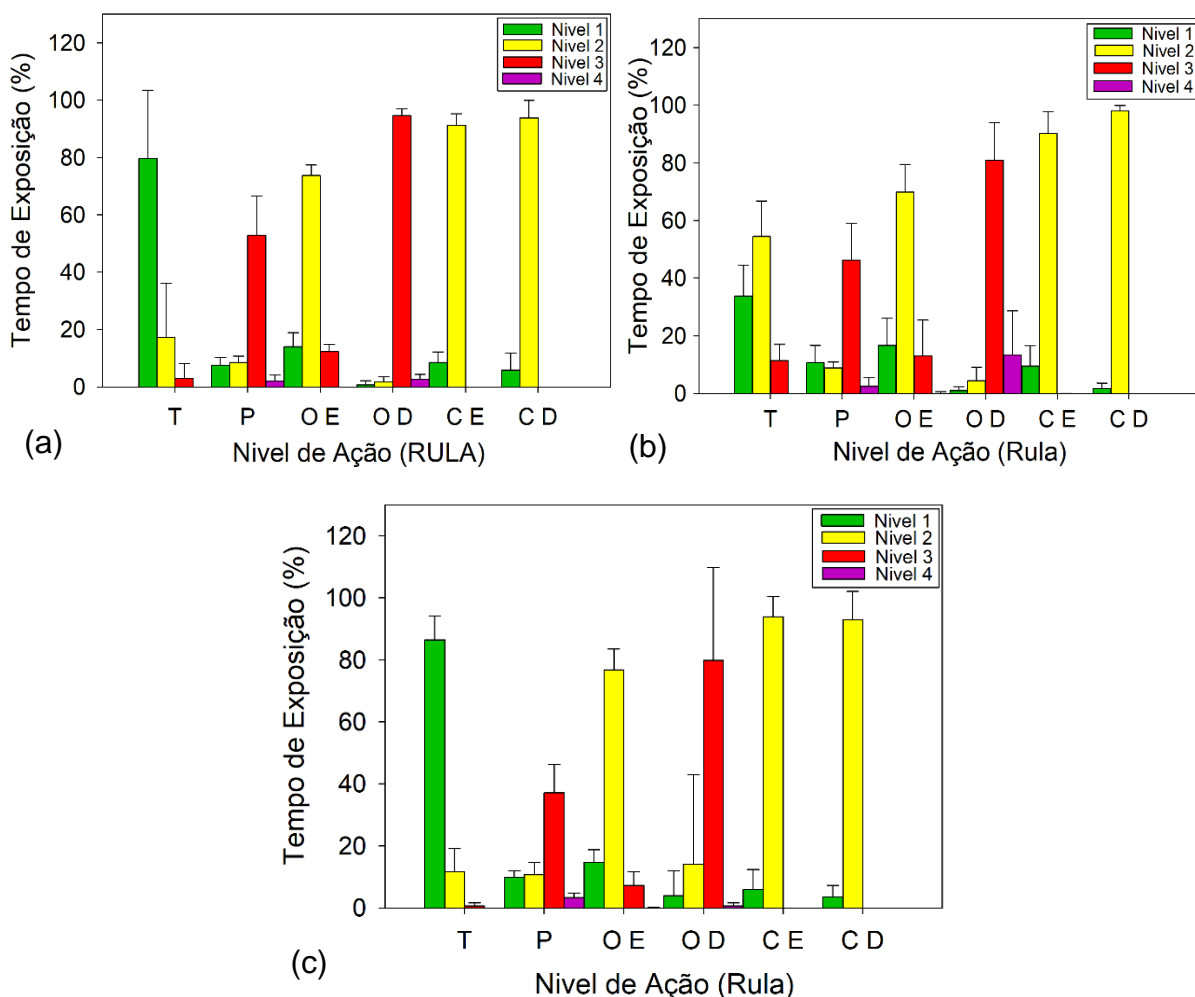
Na declividade acima de 20°, o tronco permaneceu 11,67% e 0,72% e o ombro esquerdo com 76,78% e 7,25% do tempo de exposição com angulações fora da neutralidade dentro dos níveis de ação 2 e 3, ou seja, com risco leve a médio à saúde do operador. No entanto, para a articulação do pescoço, o operador permaneceu 10,72%, 37,16% e 3,37% e do ombro direito com 14,17%, 79,90% e 0,68% do tempo de exposição com as articulações comprometidas nos níveis 2, 3 e 4, sendo classificadas de leve, médio a elevado risco de lesões ao trabalhador.

É relevante destacar que, em todas as inclinações do terreno, o operador passou grande parte do tempo de trabalho com todas as articulações comprometidas e com grave risco de lesão, representando elevados riscos a sua saúde (Figura 25). Trata-se de uma situação preocupante, havendo a necessidade de mudanças imediatas dos procedimentos de trabalho para a devida correção postural, evitando graves problemas à saúde do operador em um futuro próximo.

Na região do pescoço e tronco, as angulações inadequadas ocorreram devido às manobras realizadas pela máquina no momento do carregamento e descarregamento da madeira, pois o operador necessitava visualizar constantemente a pinça visando alcançar os feixes de árvores. Além disso, foi possível verificar a ocorrência de angulações indevidas do pescoço, no momento do deslocamento vazio da máquina em direção ao interior do talhão, momento em que a máquina estava leve e mais propícia ao recebimento dos impactos devido às irregularidades do terreno, e posteriormente, em alguns momentos no deslocamento carregado para visualização dos feixes de árvores.

Para o ombro direito, tal resultado pode ser atribuído à localização dos comandos hidráulicos responsáveis pelo acionamento de abertura e fechamento da pinça do *skidder* no momento do carregamento e descarregamento da madeira, que

ficavam posicionados atrás e à direita do assento. Para o ombro esquerdo, durante a análise operacional da operação verificou-se que essa articulação teve maior exigência no descarregamento da madeira, quando o operador utilizava os movimentos do ombro esquerdo para manuseio do volante da máquina.



**Figura 25.** Tempo de exposição dos membros e articulações corporais do operador de *skidder* obtidos através do *Kinebot* na operação de extração de madeira nas classes de declividade do terreno. Sendo:  $D \leq 10^\circ$  (a),  $10 < D \leq 20^\circ$  (b),  $D > 20^\circ$  (c).

Legenda: Segmentos Corporais: Tronco (T), Pescoço (P); Ombro Esquerdo (OE), Ombro Direito (OD), Cotovelo Esquerdo (CE), Cotovelo Direito (CD).

Na extração por arraste com *skidder*, foram identificadas quatro posturas típicas adotadas pelos operadores nas diferentes etapas do ciclo operacional, sendo as seguintes: Deslocamento vazio (DV), Carregamento (CR), Deslocamento carregado (DC) e Descarregamento (DR). Importante ainda destacar o fato de o operador permanecer com angulação inadequada em todas as atividades parciais do ciclo de

trabalho, havendo maior preocupação em relação ao deslocamento vazio e carregado, na qual é dispensável o uso dos comandos da pinça (Figura 26).



**Figura 26.** Posturas típicas adotadas pelo operador de *skidder* na extração de madeira. Sendo: Deslocamento vazio (a), Carregamento dos feixes (b), Deslocamento carregado (c), Descarregamento dos feixes (d).

Dentre as posturas típicas obtidas, constatou-se que em nenhuma delas, o operador permaneceu com a cabeça alinhada diretamente para a frente do tronco. Além disso, o operador girava a cabeça para ambos os lados para conseguir melhor visualização da pinça com feixe de árvores que estavam sendo arrastados, sendo possível observar as articulações que passaram a maior parte do tempo de forma inadequadas, com altos riscos de lesões para o operador.

Na Tabela 18, são apresentados os resultados posturais previstos para as horas efetivas de trabalho na operação de extração com *skidder*, os quais revelaram valores elevados e preocupantes. Observou-se que a maioria das articulações do operador permaneceu mais de 50% do tempo total da jornada de trabalho em condições prejudiciais à sua postura. O pescoço, por exemplo, permaneceu em uma angulação de aproximadamente 40° além de sua posição normal em todas as

declividades do terreno, com riscos classificados como leve, médio e elevado à saúde. Tais situações, corresponderam a 63%, 58% e 51% do tempo de exposição, o que equivale a 228, 208 e 185 minutos do tempo total da jornada efetiva de trabalho, nas três classes de declividade do terreno, respectivamente.

Outro ponto crítico foi o ombro direito, que apresentou condições posturais extremamente prejudiciais, onde os operadores permaneceram em posturas inadequadas por cerca de 99% do tempo de exposição nas declividades de até 20° e 84% do tempo nas declividades superiores a 20°, com riscos variando entre leve, médio e elevado. As angulações das articulações, ultrapassaram 90° em quase toda a jornada de trabalho, totalizando 357, 356 e 341 min do tempo total da jornada efetiva de trabalho, em todas as classes de declividade. Além disso, ressalta-se que os demais membros que obtiveram riscos de leve a médio, ocorreu em quase metade do tempo efetivo de trabalho.

**Tabela 18.** Percentual de exposição determinado para as horas efetivas de trabalho na extração por arraste com *skidder*.

Postura Declividade	Articulações	Tempo de exposição (%)				Tempo de Exposição (min)			
		Níveis de Ação				Níveis de Ação			
		2	3	4	Total	2	3	4	Total
$D \leq 10^\circ$ 	Tronco	17	3	0	<b>20</b>	62	11	0	<b>73</b>
	pescoço	8	53	2	<b>63</b>	31	190	8	<b>228</b>
	Ombro Esq.	74	12	0	<b>86</b>	265	44	0	<b>310</b>
	Ombro Dir.	2	95	3	<b>99</b>	6	341	10	<b>357</b>
	Cotovelo Esq.	91	0	0	<b>91</b>	329	0	0	<b>329</b>
	Cotovelo Dir.	94	0	0	<b>94</b>	338	0	0	<b>338</b>
$10 < D \leq 20^\circ$ 	Tronco	54	11	0	<b>66</b>	196	41	0	<b>237</b>
	pescoço	9	46	3	<b>58</b>	32	167	9	<b>208</b>
	Ombro Esq.	70	13	0	<b>83</b>	252	47	1	<b>299</b>
	Ombro Dir.	5	81	13	<b>99</b>	16	292	48	<b>356</b>
	Cotovelo Esq.	90	0	0	<b>90</b>	325	0	0	<b>325</b>
	Cotovelo Dir.	98	0	0	<b>98</b>	353	0	0	<b>353</b>
$D > 20^\circ$ 	Tronco	12	1	0	<b>12</b>	42	3	0	<b>45</b>
	pescoço	11	37	3	<b>51</b>	39	134	12	<b>185</b>
	Ombro Esq.	77	7	0	<b>84</b>	276	26	0	<b>303</b>
	Ombro Dir.	14	80	1	<b>95</b>	51	288	2	<b>341</b>
	Cotovelo Esq.	94	0	0	<b>94</b>	338	0	0	<b>338</b>
	Cotovelo Dir.	93	0	0	<b>93</b>	335	0	0	<b>335</b>

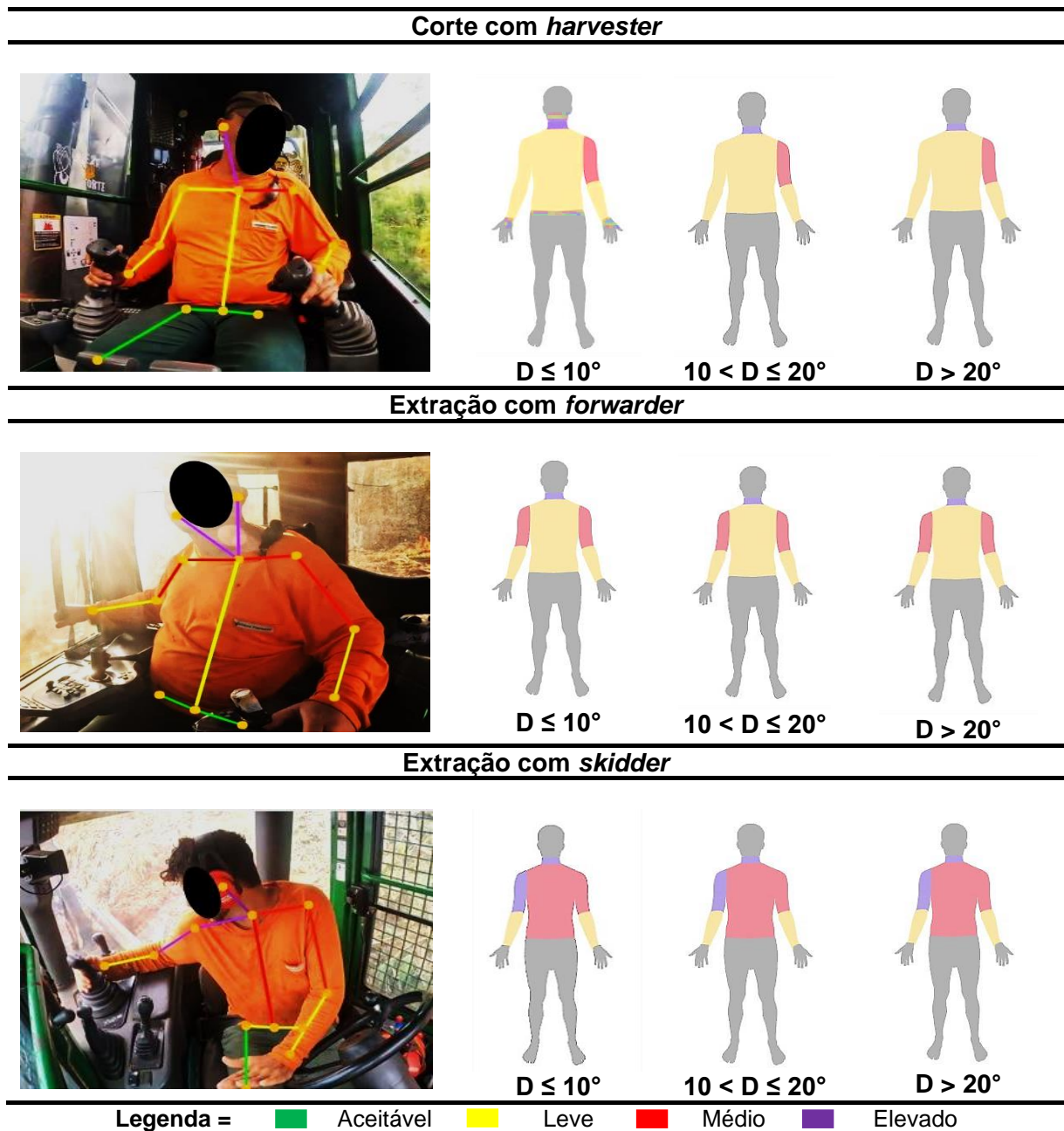
Paini et al. (2020) ao avaliar a postura corporal e movimentos repetitivos adotados por operadores de *skidder* na extração de madeira de pinus pelos métodos RULA e REBA, encontraram resultados semelhantes ao presente estudo. Observaram que as posturas foram afetadas devido a necessidade de visualização da pinça de acúmulo dos feixes de árvores, enquanto a rotação do pescoço foi detectada em todas as posturas, mesmo a máquina possuindo assento com rotação de 100°. Já no presente estudo, o assento da máquina era fixo voltado para frente, sem rotação, o que ocasionou condições mais críticas para a postura do operador.

Por fim, Oliveira et al. (2019), ao avaliar o desempenho ergonômico de máquinas florestais por meio do Indicador Ergonômico Integrado (IEI), que correlacionou as variáveis ergonômicas, afirmou em seu estudo que a pior máquina sob o aspecto ergonômico foi o *skidder*, com IEI de 2,82 e 1,60 para os turnos diurno e noturno, respectivamente, explicado por inúmeros choques e solavancos no percurso do trabalho, e devido aos operadores passarem muito tempo com o pescoço e tronco torcido. Sendo assim, constatou-se que, independentemente das condições de declividade do terreno, a extração da madeira com *skidder* ocasiona posturas inadequadas ao operador, podendo ocasionar sérios problemas de lesões no futuro.

Na Tabela 19 é ilustrado a distribuição dos níveis de ação por regiões dos membros superiores e articulações do corpo humano durante a execução as operações de corte com *harvester*, extração com *forwarder* e *skidder*, possibilitando assim, uma melhor identificação daqueles membros e articulações mais comprometidas durante a execução das operações de colheita da madeira nas três classes de declividade do terreno, em que:

Sendo: Nível de ação 1 (Verde): Aceitável → Postura aceitável se não for repetida ou mantida por longos períodos; Nível de ação 2 (Amarelo): Risco leve → Investigar; possibilidade de solicitar alterações; devem ser feitas alterações; Nível de ação 3 (Vermelho): Risco médio → Investigar; fazer alterações rapidamente; Nível de ação 4 (Roxo): Risco elevado → Alteração imediata.

**Tabela 19.** Distribuição dos níveis de ação por regiões dos membros superiores do corpo operador durante a execução as operações.



No corte com *harvester*, independente da declividade do terreno, as regiões afetadas foram o tronco e cotovelos com risco leve à saúde, estando enquadrado no nível de ação 2 (amarelo) pelo RULA, enquanto que as regiões do ombro esquerdo e pescoço apresentaram risco elevado e médio, com níveis de ação 3 e 4 (vermelho e roxo) respectivamente, em todas as classes de declividades, ou seja, necessitando de investigação ou alterações imediata na forma de execução do trabalho, evitando maiores riscos à saúde do operador no futuro. Durante o baldeio com o *forwarder*, foi

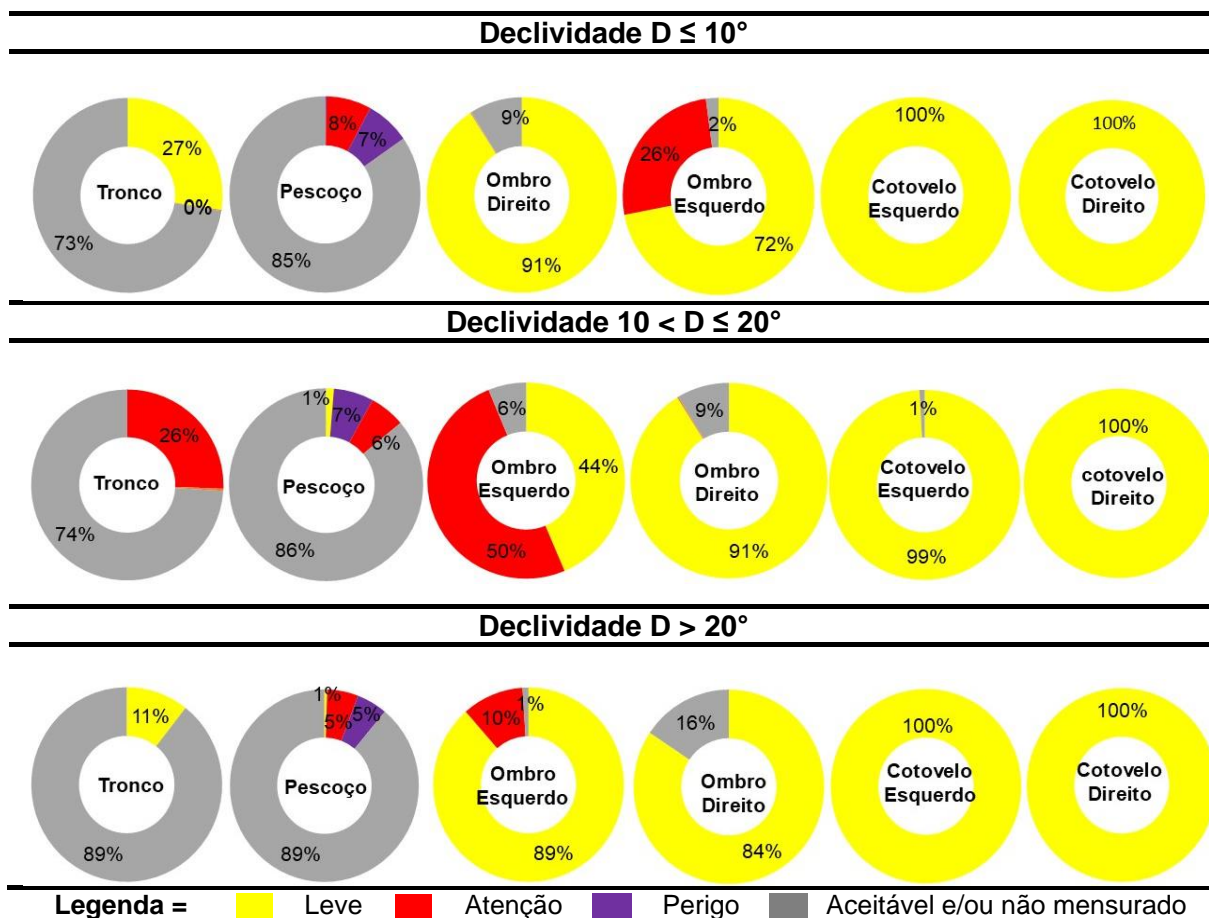
observado que a região do tronco e dos cotovelos atingiram o nível 2 (amarelo), indicando um grau de esforço moderado. No entanto, é importante destacar que, ao longo da execução da operação, houve comprometimento nas regiões dos ombros e do pescoço do operador, com níveis de ação 3 (amarelo) e 4 (vermelho), independentemente da classe de declividade do terreno, indicando um risco elevado de desconforto ou até lesões nas articulações ao longo do tempo, ou que reforçam a necessidade de adequação das práticas operacionais e a implementação de medidas preventivas para reduzir os impactos sobre a saúde.

Na extração com o *skidder* notou-se que tal operação é a que mais prejudica a postura do operador, estando fortemente ligada à característica da operação, que demanda constantes movimentos e manobras da máquina. Em todas as declividades do terreno, observou-se que as regiões do tronco e ombro esquerdo foram afetadas com risco médio para a saúde do operador e nível de ação 3 (vermelho), exigindo ações imediatas para corrigir a postura. Além disso, a operação afetou gravemente o pescoço e ombro direito, representando um alto perigo para a saúde do operador com um nível de ação 4 (roxo). Desse modo, é imprescindível a execução imediata de medidas ergonômicas para solucionar as questões posturais.

Afim de avaliar a intensidade dos riscos de lesão nas atividades de colheita da madeira em que os operadores estavam expostos nas diferentes classes de declividade, foram agrupados os níveis de ação obtidos somente nas situações que apresentavam algum risco de lesão para o operador, e desta maneira, a classificação ficou da seguinte maneira: nível de ação 2, contendo a somatória dos resultados obtidos para todos os níveis de ação (2, 3 e 4), representado pela cor amarela = Leve; nível de ação 3, onde foi somado os níveis de ação 3 e 4, representado pela cor vermelha = Atenção; e apenas o nível 4, com os valores referentes somente ao nível de ação 4 = Perigo, ilustrado pela cor roxa, a cor cinza nos gráficos representa o percentual de tempo de exposição em que o operador esteve com as angulações das articulações consideradas confortáveis e/ou o software não conseguiu realizar a leitura dos movimentos, desse modo, não atribuindo nenhum score, ou nível de ação.

Na Tabela 20 é apresentado o tempo de permanência do operador de *harvester* na situação de risco para as articulações corporais nas diferentes intensidades considerando as três classes de declividade do terreno.

**Tabela 20.** Classificação da intensidade dos riscos de lesão por segmento corporal na operação de corte com *harvester* nas classes de declividade do terreno.

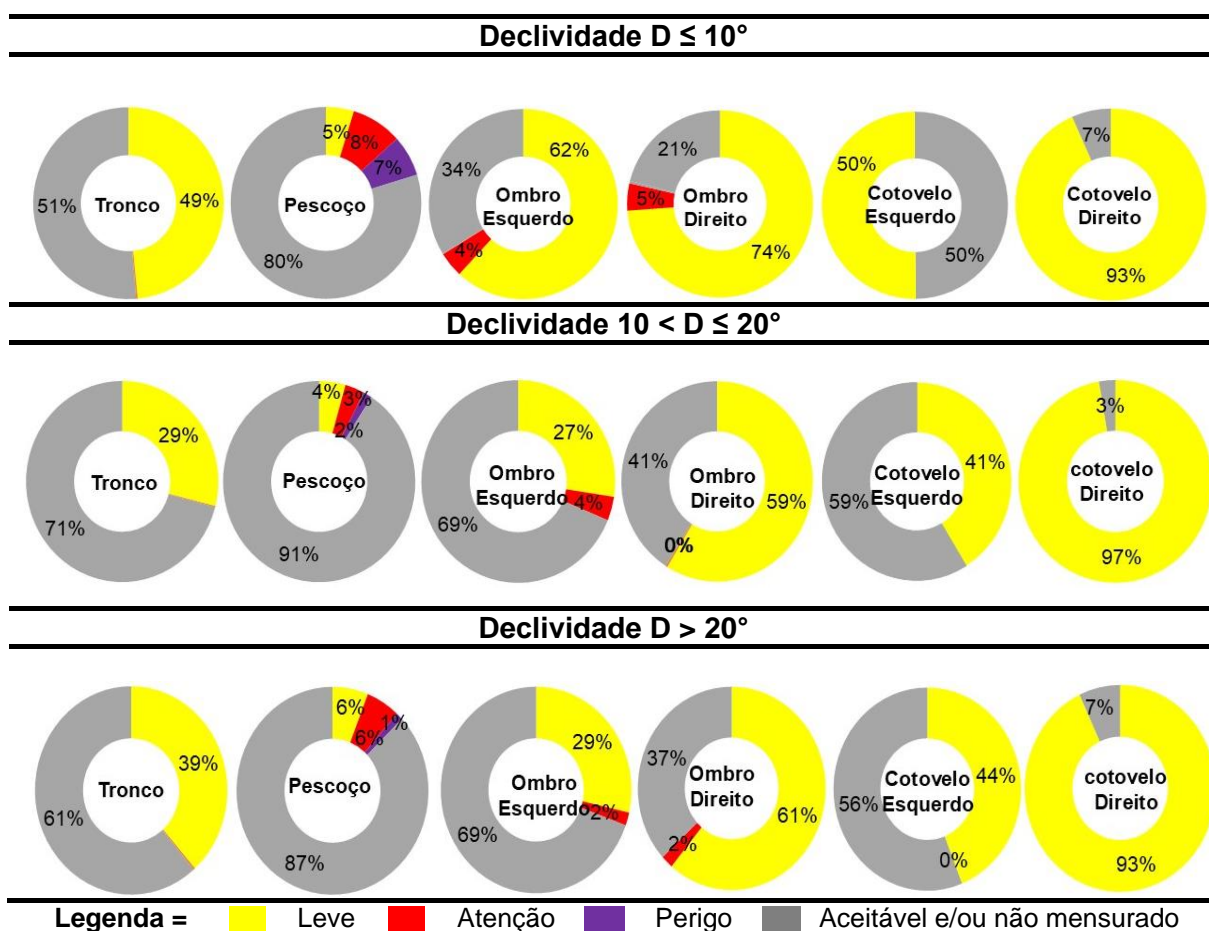


De acordo com a classificação das posturas adotadas pelo operador durante o corte com *harvester*, foi possível identificar que, para as articulações dos cotovelos, o risco postural foi classificado como “Leve” em 100% do tempo de execução do trabalho, independentemente das variações na declividade do terreno. Por outro lado, a articulação dos ombros, tanto direito quanto esquerdo, apresentou algumas variações no risco postural, sendo observados períodos nos quais o risco foi classificado como “Atenção”.

Já a articulação do pescoço, embora tenha apresentado uma exposição mais breve a posturas desfavoráveis, foi a que evidenciou o maior grau de risco. Em algumas situações específicas, em todas as classes de declividade do terreno, em que o risco foi classificado como “Perigo”, o que implica que a postura adotada pelo operador pode gerar um risco significativo para a saúde, podendo levar a lesões mais graves em caso de exposição prolongada.

Na Tabela 21 encontram-se a classificação dos riscos para a operação de extração e/ou baldeio como *forwarder* nas três classes de declividade do terreno.

**Tabela 21.** Classificação da intensidade dos riscos de lesão por segmento corporal na operação de extração e com *forwarder* nas classes de declividade do terreno.

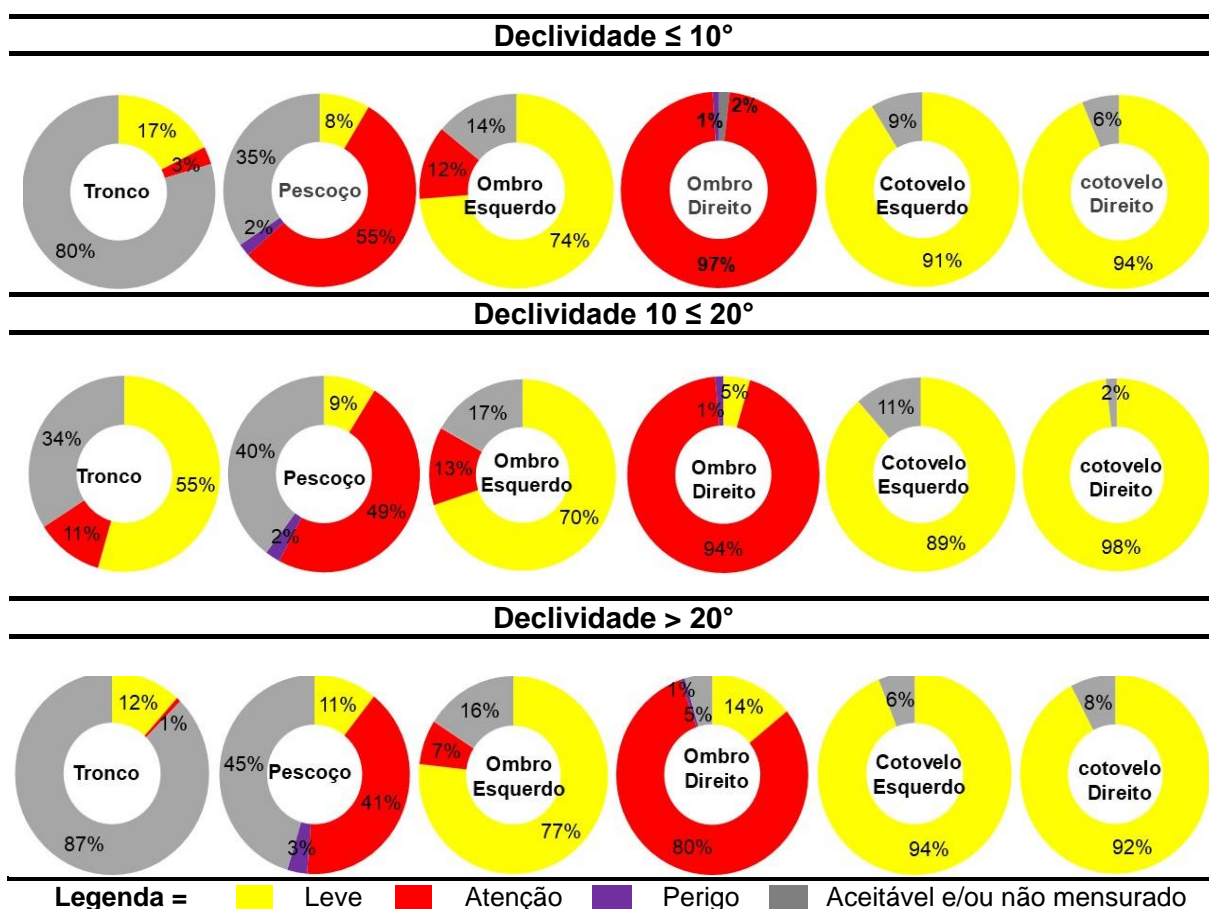


Com base na classificação realizada, observou-se que, para todas as articulações executadas pelo operador durante o baldeio com *forwarder*, e em todas as classes de declividade do terreno, o risco postural foi predominantemente categorizado como “Leve”. Isso indica que, na maior parte do tempo, o operador executa a operação em condições que não representam grandes riscos para sua saúde postural. No entanto, foi observada uma pequena incidência de “Atenção”, para as articulações dos ombros, e, embora em porcentagens relativamente baixas, o pescoço também esteve sujeito a posturas associadas a níveis de risco classificados como “Leve”, “Atenção” e até “Perigo” em algumas situações.

Embora os níveis de risco mais elevados, como os categorizados como “atenção” e “perigo”, tenham sido registrados, esses foram notavelmente em baixos percentuais, quando comparados a outras operações. Isso sugere que a operação de baldeio com o *forwarder*, apesar de exigir alguma precaução, foi a operação que apresentou menor impacto postural sobre o operador em relação às demais atividades analisadas.

Na Tabela 22, apresenta-se a classificação dos riscos associados à extração com o *skidder*, considerando as três classes de declividade do terreno. Os dados obtidos indicam que há um alto risco de lesões nas articulações dos ombros, pescoço e tronco, com destaque para o ombro direito e o pescoço. Os riscos para essas articulações foram principalmente classificados como “Leve” e “Atenção”, enquanto uma pequena porcentagem foi registrada na categoria “Perigo”. Essas classificações se mantiveram consistentes independentemente da classe de declividade do terreno.

**Tabela 22.** Classificação da intensidade dos riscos de lesão por segmento corporal na operação de extração com *skidder* nas classes de declividade do terreno.



O ombro direito e o pescoço, por serem áreas mais vulneráveis devido à postura e movimentos repetitivos exigidos durante o trabalho, apresentam uma maior incidência de riscos, sendo evidente a necessidade de melhorias imediatas, caso contrário, pode resultar em problemas gravíssimos de saúde em um futuro próximo, pois todas as etapas do ciclo operacional da atividade, expõem o operador a riscos que podem comprometer a sua saúde.

Os resultados mostraram que, em função das posturas inadequadas adotadas pelos operadores, devido às angulações das articulações e o tempo de exposição, existe um eminente desconforto, podendo ocasionar lesões nas articulações e maiores problemas de saúde ao operador no futuro. Além disso, as funções dos operadores de máquina florestal constituem uma tarefa complexa, caracterizada pela manutenção prolongada de uma mesma postura (sentada), além da exposição significativa à vibração durante aproximadamente 75% da jornada de trabalho.

As funções desempenhadas exigem alta demanda cognitiva e motora, envolvendo movimentos simultâneos, das mãos e punhos. Embora os movimentos sejam curtos e leves, apresentam muita repetitividade, o que comprometer a saúde do trabalhador. E uma das questões ergonômicas mais frequentes é a postura inadequada dos trabalhadores, que se sobressai, e acontece frequentemente devido a equipamentos inadequados que não cumprem as medidas antropométricas para os trabalhadores destinados. Por isso, é importante destacar que, essas máquinas são desenvolvidas com base no perfil antropométrico da população europeia, cujas dimensões corporais diferem significativamente do perfil da população brasileira.

Em tais circunstâncias, a utilização do *Kinebot*® permitiu uma avaliação mais precisa dos escores dos segmentos corporais, prevenindo as subjetividades durante as análises das angulações das articulações possibilitando um resultado mais eficiente conforme a metodologia aplicada (RULA), sendo possível demonstrar que, em todos os três tipos de máquinas florestais (*harvester*, *forwarder* e *skidder*), a postura do operador é impactada com maior ou menor intensidade devido as características das operações, seja pelo design da cabine, pela necessidade de visibilidade, pela posição dos comandos e controles, condições do assento, e de algum modo pelas condições do terreno, seja pelo tamanho dos tocos, resíduos e característica do relevo. Desse modo, a adaptação das condições de trabalho e a implementação de

boas práticas ergonômicas são fundamentais para garantir a saúde o bem-estar dos operadores, bem como aumentar sua produtividade.

#### 6.4 Correlação entre as variáveis ergonômicas

Os resultados da MANOVA, considerando todas as variáveis avaliadas, Vibração de Corpo Inteiro (VCI), Vibração de Mãos e Braços (VMB), Tronco (T), Pescoço (P), Ombro Esquerdo (OE), Ombro Direito (OD), Cotovelo Esquerdo (CE), Cotovelo Direito (CD), estão apresentados na Tabela 23.

**Tabela 23.** Resultados da análise de variância multivariada para o conjunto composto por todas as variáveis avaliadas.

Efeito		Valor	F	Significância
Máquina	Traço de Pillai	1,979	50,139	<0,000
	Lambda de Wilks	0,000	52,711	<0,000
	Traço de Hotelling	280,047	53,855	<0,000
	Maior raiz de Roy	221,356	119,192	<0,000
Declividade	Traço de Pillai	1,695	2,987	<0,018
	Lambda de Wilks	0,009	4,336	<0,005
	Traço de Hotelling	31,000	5,961	<0,003
	Maior raiz de Roy	28,314	15,246	<0,001
Maq * Decl	Traço de Pillai	3,232	2,912	<0,001
	Lambda de Wilks	0,000	3,477	<0,001
	Traço de Hotelling	44,023	3,810	<0,001
	Maior raiz de Roy	31,186	21,590	<0,000

Os resultados indicam que, para todos os testes aplicados na MANOVA, houve diferenças significantes entre a interação Máquinas versus Declividade ( $\alpha < 0,05$ ). Os fatores principais também foram significantes ( $\alpha < 0,05$ ). Duas funções discriminantes foram identificadas, responsáveis por 92,8% da variabilidade total, com uma correlação entre as variáveis analisadas e as funções discriminantes superiores a 0,99 (Tabela 24).

**Tabela 24.** Resultados referentes a porcentagem da variância total explicada pelas funções discriminantes obtidas, relativas aos autovalores encontrados e coeficientes de correlação canônica para cada uma das funções discriminantes encontradas.

Função	Autovalor	% de variância	% cumulativa	Correlação canônica
1	265,075	74,7	74,7	0,998
2	64,413	18,1	92,8	0,992

A primeira função discriminante foi constituída pelas variáveis Vibração do Corpo Inteiro (VCI), Pescoço nível dois (P2), Ombro Direito nível três (OD3) e Pescoço nível três (P3), com maior correlação canônica associada. Por outro lado, na segunda função discriminante, as variáveis que tiveram maior peso foram Ombro Esquerdo nível dois (OE2), Cotovelo esquerdo nível dois (CE2) e Vibração de Mãos e Braços (VMB). As variáveis secundárias apresentaram baixa correlação nas duas primeiras funções discriminantes, e podem ser descartadas da análise (Tabela 25).

**Tabela 25.** Resultados das correlações canônicas entre as variáveis originais avaliadas e as funções discriminantes obtidas.

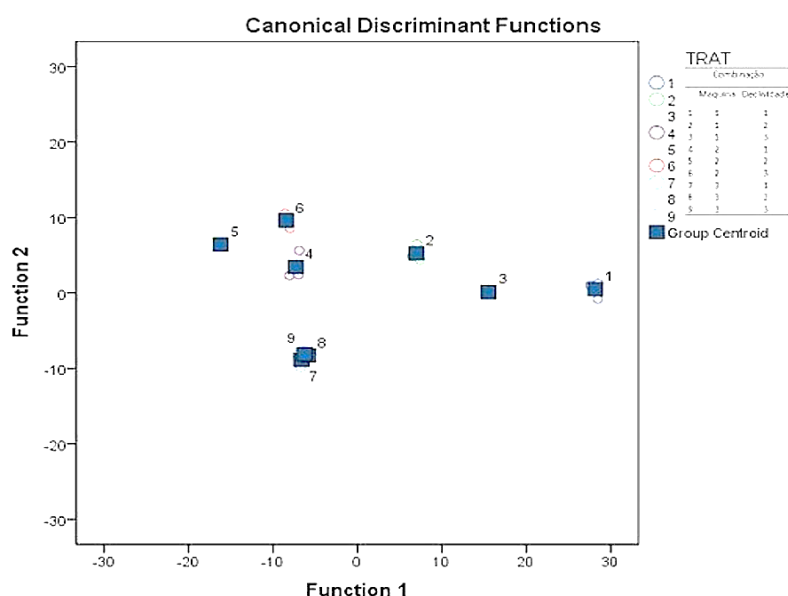
Variáveis	Função	
	1	2
OE2	0,102	-,350
P4	-0,002	-0,027
T3	0,066	0,07
VCI	0,13	0,109
T2	0,025	0,08
P2	0,186	0,098
OD3	0,154	0,087
CD2	-0,023	-0,075
CE2	0,071	-0,224
P3	0,166	0,063
OE3	-0,005	-0,095
VMB	0,141	0,231
OD2	0,085	-0,155

Legenda: OE = Ombro Esquerdo, P = Pescoço, T = Tronco, VCI = Vibração de Corpo Inteiro, OD = Ombro Direito, CD = Cotovelo Direito, CE = Cotovelo Esquerdo, OE = Ombro Esquerdo, CE = Cotovelo Esquerdo, VMB = Vibração de Mãos e Braços, 2,3 e 4 = Níveis de ação.

As funções discriminantes obtidas levaram a formação de três grupos (Figura 27). O primeiro grupo correspondeu a máquina 1 (*skidder*), o segundo a máquina 2 (*forwarder*) e o terceiro refere-se a máquina 3 (*harvester*), nas três classes de declividade do terreno avaliadas. Importante destacar ainda que, o *skidder* foi a

máquina mais afetada pelas declividades estudadas, seguido do *forwarder* em menor proporção. O *harvester* foi a máquina que demonstrou ser menos influenciada pela declividade.

A extração por arraste com *skidder* emitiu os maiores níveis de vibração em todas as declividades, ficando cima do limite de exposição determinado pela normativa, sendo necessária a adoção de medidas corretivas imediata, para não prejudicar a saúde do trabalhador, em seguida a extração por baldeio com o *forwarder* obteve níveis de vibração acima do nível de ação, sendo recomendado que sejam adotadas medidas preventivas, e por fim o corte com *harvester* emitiu os menores valores de vibração, em que no mínimo deve-se manter a condição existente, pois a mesma não prejudica a saúde do trabalhador.



**Figura 27.** Resultados das funções discriminantes 1 e 2, para as combinações entre máquinas e declividades do terreno, com os respectivos grupos centroides, para o conjunto de todas as variáveis avaliadas.

Para as regiões dos ombros e cotovelos, os fatores principais também foram significantes ( $\alpha < 0,05$ ). Duas funções discriminantes foram determinadas, explicando 98,6% da variabilidade total, apresentando uma correlação entre as variáveis avaliadas e as funções discriminantes maiores do que 0,99 (Tabela 26).

**Tabela 26.** Resultados referentes a porcentagem da variância total explicada pelas funções discriminantes obtidas, relativas aos autovalores encontrados e coeficientes de correlação canônica para cada uma das funções discriminantes encontradas.

Função	Autovalor	% de variância	% cumulativa	Correlação canônica
1	73,340	64,9	64,9	0,993
2	38,102	33,7	98,6	0,987

A primeira função discriminante foi formada pelas variáveis Vibração do Corpo Inteiro (VCI), Ombro Esquerdo nível dois (OE2), Ombro direito nível três (OD3), Vibrações de Mãos e Braços (VMB), como sendo aquelas de maior peso (correlação canônica) a ela associada. Para a segunda função discriminante, as variáveis de maior peso foram Cotovelo Esquerdo nível dois, Ombro Direito nível dois (OD2) e Ombro Esquerdo nível três (OE3). As demais variáveis apresentaram baixa correlação nas duas primeiras funções discriminantes e, por isso, podem ser eliminadas das análises (Tabela 27).

**Tabela 27.** Resultados das correlações canônicas entre as variáveis originais avaliadas e as funções discriminantes obtidas.

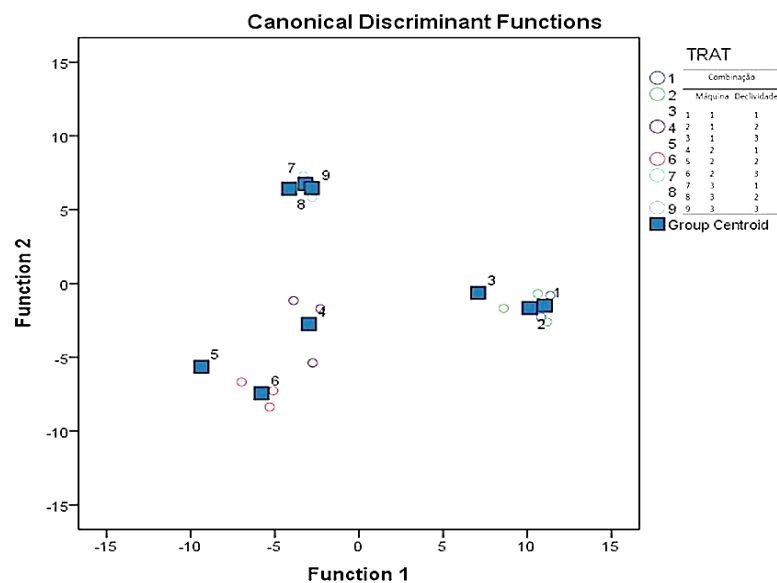
Variáveis	Função	
	1	2
VCI	0,268	-0,124
CE2	0,144	0,303
OE3	-0,003	0,132
CD2	-0,034	0,105
OD2	0,178	0,218
OE2	0,221	0,48
OD3	0,316	-0,093
VMB	0,294	-0,284

Legenda: VCI = Vibração de Corpo Inteiro, CE = Cotovelo Esquerdo, OE = Ombro Esquerdo, CD = Cotovelo Direito, OD = Ombro Direito, OE = Ombro Esquerdo, VMB = Vibração de Mãos e Braços, 2,3 e 4 = Níveis de ação.

As funções discriminantes obtidas levaram a formação de três grupos (Figura 28). O primeiro grupo corresponde a máquina 1 (operador de *skidder*), o segundo a máquina 2 (operador de *forwarder*) e o terceiro refere-se a máquina 3 (operador de *harvester*), nas três declividades estudadas. Ainda é importante salientar que, o ombro direito, foi a região afetada com mais intensidade, seguido pelo ombro esquerdo e

cotovelos na operação de extração por arraste com *skidder* em todas as classes de declividades, devido as condições de acesso aos comandos da máquina e a necessidade de visualização da abertura e fechamento da garra durante o carregamento e descarregamento, destacando ainda que essa articulação teve maior exigência no descarregamento da madeira, quando o operador utilizava ao mesmo tempo os movimentos do ombro esquerdo para manuseio do volante da máquina.

Em seguida a postura do operador do *forwarder* que teve uma menor proporção de posturas inadequadas, quando comparada a postura do operador de *skidder* para essas articulações, havendo uma exigência do ombro esquerdo, devido os acessos aos comandos responsáveis pela movimentação do cabeçote, para frente e para trás, de um lado para outro, levando a movimentação do braço e antebraço. E por fim, o *harvester* foi a máquina que demonstrou a menor incidência de desconforto nas regiões supracitadas, em todas as classes de declividade do terreno, tendo pouca exigência para visualização das pilhas.



**Figura 28.** Resultados das funções discriminantes 1 e 2, para as combinações entre máquinas e declividades do terreno, com os respectivos grupos centroides, para o conjunto das variáveis ombros e cotovelos.

Para as regiões do tronco e pescoço, os fatores principais também foram significantes ( $\alpha < 0,05$ ). Duas funções discriminantes foram determinadas, explicando 91,8% da variabilidade total, apresentando uma correlação entre as variáveis avaliadas e as funções discriminantes maiores do que 0,95 (Tabela 28).

**Tabela 28.** Resultados referentes a porcentagem da variância total explicada pelas funções discriminantes obtidas, relativas aos autovalores encontrados e coeficientes de correlação canônica para cada uma das funções discriminantes encontradas.

Função	Autovalor	% de variância	% cumulativa	Correlação canônica
1	27,984	68,5	68,5	0,983
2	9,551	23,4	91,8	0,951

A primeira função discriminante foi formada pelas variáveis Pescoço nível dois (P2), Vibração de Mãos e Braços (VMB), Vibração de Corpo Inteiro (VCI) e Pescoço nível três (P3), como sendo as de maior peso (correlação canônica) a ela associada, enquanto para a segunda função discriminante as variáveis de maior peso foram, Pescoço nível quatro (P4), e tronco nível dois (T2). As demais variáveis apresentaram baixa correlação nas duas primeiras funções discriminantes e, por isso, poderiam ser eliminadas das análises (Tabela 29).

**Tabela 29.** Resultados das correlações canônicas entre as variáveis originais avaliadas e as funções discriminantes obtidas.

Variáveis	Função	
	1	2
T3	0,264	0,201
P4	-0,027	0,072
P2	0,582	-0,113
T2	0,122	0,172
VMB	0,554	0,297
VCI	0,457	0,06
P3	0,506	-0,15

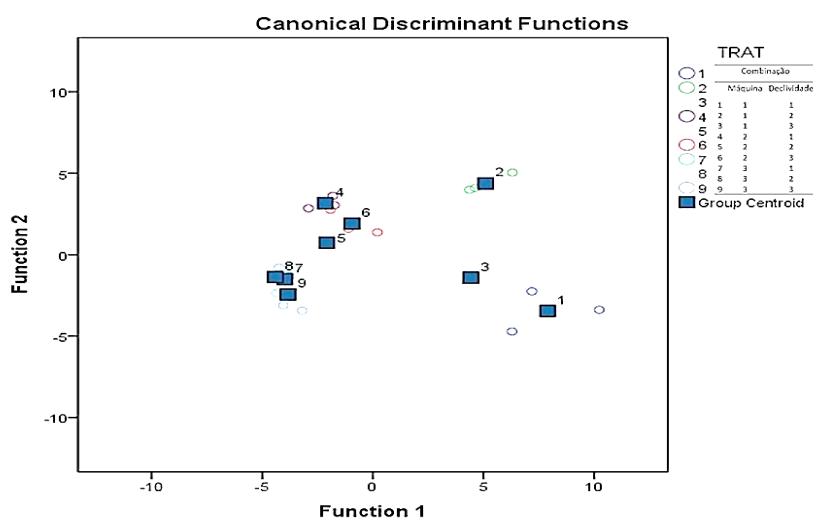
Legenda: T = Tronco, P = Pescoço, VMB = Vibração de Mãos e Braços, VCI = Vibração de Corpo Inteiro, 2,3 e 4 = Níveis de ação.

Os resultados obtidos a partir das funções discriminantes permitiram a formação de três grupos distintos, conforme ilustrado na Figura 29. O primeiro grupo corresponde à operação com *skidder*. O segundo grupo à operação do *forwarder*, enquanto o terceiro grupo, representa as atividades desempenhadas pela operação com *harvester*. Cada um desses grupos foi analisado nas três diferentes inclinações do terreno consideradas no estudo, o que permitiu uma avaliação mais detalhada dos impactos das condições de trabalho.

É fundamental destacar que, durante a extração com o *skidder*, a região do pescoço foi a mais intensamente afetada. Esse impacto foi ainda mais acentuado pela combinação das vibrações geradas pela máquina e condições do terreno, o que contribuiu para aumentar o desconforto do operador. O pescoço, como região corporal vulnerável durante essa operação, demonstrou um elevado nível de desconforto, refletindo a exigência física durante a execução do trabalho.

Em seguida, na operação de corte com o *harvester*, a região do tronco foi identificada como a segunda região mais afetada na operação. O movimento contínuo e as exigências posturais associadas à operação do corte resultaram em execução de posturas consideráveis, que podem ter sido agravadas devido a máquina não possuir nivelamento da cabine, aumentando a movimentação do tronco na operação.

Por outro lado, a atividade que apresentou os menores níveis de desconforto foi na operação de extração por baldeio com o *forwarder*, independentemente das variações nas condições do terreno. Essa operação, ao contrário das anteriores, demonstrou ser mais favorável em termos de conforto ao operador. O *forwarder*, devido possuir cabine giratória e sistema de suspensão independente, torna a operação mais estável à ocorrência das vibrações, o que parece reduzir significativamente o impacto físico nas regiões do corpo, mesmo em terrenos com diferentes inclinações. Isso sugere que dentre as três máquinas avaliadas, por seu design e características ergonômicas, o *forwarder* se mostrou mais eficiente em minimizar o desconforto postural durante as operações de extração florestal.



**Figura 29.** Resultados das funções discriminantes 1 e 2, para as combinações entre máquinas e declividades do terreno, com os respectivos grupos centroides, para as variáveis da região do tronco e pescoço.

Esses resultados reforçam a importância de se considerar não apenas as condições de declividade do terreno, mas também as características específicas das máquinas e da operação, peculiaridades do povoamento florestal e habilidades do operador. A análise detalhada do impacto das vibrações nas regiões corporais do operador durante a execução das operações proporciona uma compreensão mais profunda da expansão e necessidades ergonômicas no setor, além disso, pode contribuir para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e confortáveis nos postos de trabalho das máquinas florestais. A redução do desconforto físico dos trabalhadores é fundamental para aumentar a produtividade e garantir a saúde e segurança no ambiente de trabalho.

## 7. CONCLUSÃO

De acordo com as análises e discussão dos resultados, foi possível obter as seguintes conclusões neste estudo:

Na operação de corte com o *harvester*, os valores de Vibração de Corpo Inteiro (VCI) permaneceram abaixo do nível de ação, independentemente das condições do terreno, não representando, portanto, em riscos à saúde do operador no curto prazo. Já o *forwarder* apresentou níveis de VCI acima do limite de ação em todas as classes de declividade do terreno, exigindo maior monitoramento e a implementação de medidas preventivas para o controle desse agente físico.

Os níveis de vibração durante a extração com o *skidder* excederam os limites de exposição estabelecidos pelas normativas, especialmente no eixo látero-lateral (eixo y), demandando a adoção imediata de medidas corretivas, como a redução do tempo de exposição à metade da jornada de trabalho. Verificou-se que, os maiores níveis de acelerações ocorreram nas menores declividades do terreno, explicado pelo maior número de ciclos operacionais e maior velocidade de deslocamento da máquina, intensificando a exposição do operador às condições insalubres.

A exposição dos operadores à Vibração de Mão e Braços (VMB) manteve-se dentro dos limites aceitáveis para todas as máquinas avaliadas, permanecendo abaixo do nível de ação estabelecido pela Diretiva Europeia. Dessa forma, não foram identificados riscos significativos à saúde dos trabalhadores relacionados a esse agente físico.

A postura corporal dos operadores de *harvester* e *forwarder* foi prejudicada nas angulações do pescoço, ombros e cotovelos, agravadas pela prolongada exposição a essas condições, devido à necessidade de extensão e flexão do pescoço para visualização do topo e da base das árvores no corte, bem como da rotação corporal para observar as pilhas de madeira durante o carregamento e descarregamento no baldeio com *forwarder*. Já o esforço repetitivo nos ombros em ambas as máquinas foi causado pelo manuseio dos comandos, sendo constatado em todas as classes de declividade do terreno.

Durante a extração de madeira com o *skidder*, as articulações mais comprometidas foram o ombro direito, o pescoço e o tronco, uma vez que o operador manteve posturas inadequadas durante praticamente todo o ciclo operacional, independentemente da declividade do terreno.

A análise multivariada (MANOVA) indicou que a operação de extração com o *skidder* apresentou os maiores riscos ergonômicos em relação à vibração de corpo inteiro e à postura corporal, independentemente da declividade do terreno. Além disso, identificou-se que as articulações do pescoço, ombros e cotovelos foram as mais afetadas durante as operações, favorecendo a adoção de posturas que excedem a neutralidade das angulações em determinados momentos do trabalho.

A medição da vibração de corpo inteiro e o monitoramento das posturas adotadas pelos operadores ao longo da jornada de trabalho são medidas ergonômicas essenciais a serem tomadas pelos gestores florestais, permitindo a preservação da saúde dos trabalhadores e ganhos de produtividade para a empresa florestal.

## 8. RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados e discussão apresentados nesta pesquisa, propõe-se algumas recomendações ergonômicas para adoção por parte da empresa florestal e fabricantes das máquinas:

- Realização de manutenções preventivas periódicas nos sistemas de suspensão e amortecimento e assento das máquinas, calibração dos pneus, e substituição de componentes defeituosos ou desgastados.
- Alternância das atividades que expõem os operadores a níveis elevados de vibração, reduzindo assim, o tempo diário de exposição.
- Adoção no microplanejamento das operações de colheita da madeira de uma identificação prévia das trilhas de arraste com superfícies regulares, de modo que as máquinas de extração possam transitar com velocidade compatível e reduzindo a incidência de solavancos e exposição à vibração.
- Monitoramento constante dos níveis de vibração das máquinas durante a execução das operações de colheita da madeira em diferentes condições operacionais, assegurando que os valores estejam dentro dos limites normativos, e a implementação de medidas corretivas, quando necessário.
- Instalação câmeras de vídeo na parte traseira do *skidder*, de modo a evitar a torção do tronco do operador durante os deslocamentos vazio e carregado da máquina, e melhorias no projeto do assento da máquina com possibilidade de instalação de sistemas de amortecedores e rotação.
- Revisão dos procedimentos operacionais referente ao deslocamento vazio da máquina e otimizar o acúmulo de árvores por feixe, reduzindo assim, a necessidade de abertura e fechamento constante da pinça no momento do carregamento da madeira.
- Revisão na configuração dos comandos das máquinas, de modo a redistribuir e equilibrar as funções entre ambos os *joysticks*, evitando a incidência de maior

desgaste e sobrecarga física em determinado lado do membro superior e ombro do operador.

- Realização de reuniões periódicas com os operadores das máquinas, no sentido de conscientizá-los acerca dos riscos ergonômicos existentes nas operações florestais, bem como da necessidade de maior engajamento no sentido de procurar sempre adotar posturas corporais corretas no trabalho.
- Implementação de pausas regulares distribuídas durante a jornada de trabalho e sessões de ginástica laboral, com o objetivo de reduzir os riscos relacionados às vibrações e carga postural, promovendo o relaxamento muscular, prevenindo a fadiga e melhorando a segurança, conforto, saúde no ambiente de trabalho, com potenciais ganhos de produtividade.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, S. A.; JALIL, N. A. A. Vertical suspension seat transmissibility and seat values for seated person exposed to whole-body vibration in agricultural tractor preliminary study. **Procedia Engineering**, Selangor, v, 170, p. 435-442. 2017.

Associação Brasileira de Ergonomia e Fatores Humanos. 2024. Disponível em: <https://www.abergo.org.br/o-que-%C3%A9-ergonomia>. Acesso em: 11 de nov 2024.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices**. Cincinnati, OH, USA: ACGIH, 2021. 298 p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., & SPAROVEK, G., 2013: Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6), 711-728. 2013.

ALMEIDA, S. F. **Análise de Fatores Ergonômicos na Colheita Florestal Mecanizada com Ênfase na Exposição Humana às Vibrações Mecânicas**. Campinas. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas - SP. 2011.

ALMEIDA, S. F.; ABRAHÃO, R. F.; TERESO, M. J. A. Avaliação da exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro em máquinas de colheita florestal. **Cerne**. Lavras, v.21, n.1, p. 1-8, abr. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01047760201521011446>.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos**: projeto e medida do trabalho. 6 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1977.

BARTLETT, M. S. Properties of Sufficiency and Statistical Tests. In: KOTZ, S.; JOHNSON, N.L. Breakthroughs in Statistics. **Springer Series in Statistics**, New York, 1992. DOI: 10.1007/978-1-4612-0919-5\_8. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4612-0919-5\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4612-0919-5_8). Acesso em: 11 mar. 2021.

BARBOSA; R. P.; FIEDLER; C, F.; CARMO; F. C. A.; MINETTE; L. J.; SILVA; E. N. S. Análise de posturas na colheita florestal semimecanizada em áreas declivosas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n.4, p.733-738, ago. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000400016>.

BECERRA, A.G.; OLGUÍN-TIZNADO, J.E.; ALCARAZ, J.L.G. Infrared thermal imaging monitoring on hands when performing repetitive tasks: An experimental study. **PLOS ONE**. United States, v. 16, e0250733, may. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250733>

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Aprova normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Brasília: **Diário Oficial da União**, 13 jun. 2013b. Seção I, p. 59.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Saúde ambiental: guia básico para construção de indicadores**. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL. **Lesões por Esforços Repetitivos (LER) Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (Dort): Dor relacionada ao trabalho**. Diretrizes para Atenção Integral à Saúde do Trabalhador de Complexidade Diferenciada. Ministério da Saúde. 2012.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 17 - Ergonomia. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 1978.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 15 - Atividades e Operações Insalubres. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 1978.

BURSTRÖM, L.; NILSSON, T.; WAHLSTRÖM, J. Whole-body vibration and the risk of low back pain and sciatica: A systematic review and meta-analysis. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, Umea, v. 88, p. 403-418. Ago. 2014. DOI: 10.1007/s00420-014-0971-4.

BUTKUS, R.; VASILIAUSKAS, G.; REMIGIJUS, Z. Operator whole-body vibration exposure of wheeled forwarder with bogie tracks. **Engineering for Rural Development**, Jelgava, v. 20, p. 1-6, may. 2020. DOI:10.22616/ERDev.2020.19.TF407.

CALDATO, S. L.; LONGHI, S. J.; FLOSS, P. A. Estrutura populacional de *Ocotea porosa* (Lauraceae) em uma Floresta Ombrófila Mista, em Caçador (SC). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 89-101, jan./jun. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/19805098369>.

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho**: o manual técnico da máquina humana. Belo Horizonte. Ergo Editora, v.1, 1995.

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho em 18 lições**. Belo Horizonte: Ergo, 2002. 202 p.

CUNHA, I. A. A exposição Ocupacional às Vibrações Mecânicas: Considerações sobre os principais Critérios Legais e Técnicos. In: Revista ABHO de Higiene Ocupacional ano III - n.º 8 – março 2004 – Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais, p. 9-12. 2004.

DIRETIVA 2002/44/ CE do Parlamento Europeu e do Conselho. **Jornal Oficial das Comunidades Européias**, Lisboa, n. 177, p. 13-19, jun. 2002.

DUARTE, M. L. M.; ARAÚJO, P. A.; HORTA, F. C.; VECCHIO, S. D.; CARVALHO, L. A. P. Correlation between weighted acceleration, vibration dose value and exposure time on whole body vibration comfort levels evaluation. **Safety Science**, Amsterdam, v. 103, p. 218–224, mar. 2018. DOI: 10.1016/j.ssci.2017.11.008. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753517310044>. Acesso em: 24 ago. 2024.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia Prática**. Tradução de Itiro lida. 2. ed. São Paulo. Edgard Blücher, 2004.

ENGELBRECHT, R.; McEWAN, A.; SPINELLI, R. A Robust Productivity Model for Grapple Yarding in Fast-Growing Tree Plantations. **Forests**, Suíça, v. 8, p. 396; out, 2017. Disponível em: DOI:10.3390/f8100396

FAGUNDES, S. B. R.; GOMES, L. V. N.; MEDEIROS, L. M. S. Joystick: uma tendência nas máquinas florestais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18., 1998, Niterói. **Anais**. Niterói. 1998.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Planning forest roads and harvesting systems**. Rome: FAO Forest Paper, 1977.

FERNANDES, H. C.; BRITO, A. B.; SANTOS, N. T.; MINETTE, L. J.; RINALDI, P. C. N. Análise antropométrica de um grupo de operadores brasileiros de “feller-buncher”. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 81, p. 17-25, mar. 2009.

FIEDLER, N. C.; MENEZES, N. S. M.; AZEVEDO, I. N. C.; SILVA, J. R. M. Avaliação biomecânica dos trabalhadores em marcenarias no Distrito Federal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 99-109, out. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050981746>.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO. **Norma de Higiene Ocupacional. NHO 09: Procedimento Técnico: Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro**. São Paulo, p. 40. 2013.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO. **Norma de Higiene Ocupacional. NHO 10: Procedimento Técnico: Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços**. São Paulo, p. 53. 2013.

GERASIMOV Y., SOKOLOV A. Ergonomic characterization of harvesting work in Karelia. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 30. n. 2., p. 159-170. Nov. 2009.

GERASIMOV, Y.; SOKOLOV, A. Ergonomic evaluation and comparison of wood harvesting systems in Northwest Russia. **Applied ergonomics**, v. 45, n. 2, p. 318-338, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.04.018>.

GRANDJEAN, Etienne. **Manual de Ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 1998.

GRIFFIN, M. J. **Handbook of Human Vibration**. Southampton, UK: Academic Press Limited, 1990, 988 p.

HEINIMANN, H.R., 1999: Ground-based harvesting technologies for steep slopes. In: Proceedings of the International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium, Sessions and Chung (editors), March 28 – April 1, Corvallis, Oregon, USA, 1-19.

HORN, R.; VOSSBRINK J.; PETH, S. BECKER, S. Impact of modern forest vehicles on soil physical properties. **Forest Ecology and Management**, Louisiana, v. 248, p. 56–63, ago. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.02.037>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manuais técnicos em geociências**: Manual técnico da vegetação brasileira. n. 1. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275 p.

IBÁ. **Indústria Brasileira de Árvores**. Relatório IBÁ 2024, ano base 2023. Brasília: 2025. 99p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2025.

IEA. International Ergonomics Association. **Definição e domínios da Ergonomia**. 2023. Disponível em: <http://www.iea.cc>. Acesso em: 17 de nov. 2023.

IIDA, I.; GUIMARÃES, L. B. M. **Ergonomia: projeto e produção**. 3a. ed. São Paulo: Blucher, 2016, 850 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8041:2005**: Human response to vibration - Measuring instrumentation. Londres: ISO, 2005. 91 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631-1**. Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of Human Exposure to Whole – Body Vibration. Part 1: General Requirements. Geneva, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5349-1:2001**. Mechanical vibration – Measurement and evaluation to human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General.

JANNUZZI, P. M. Indicadores sociais no Brasil: conceitos, fontes de dados e aplicações. Campinas: Alínea, 2004.

JANKOVSKÝ, M.; MESSINGEROVÁ, V.; FERENČÍK, M.; ALLMAN, M. Objective and subjective assessment of selected factors of the work environment of forest harvesters and forwarders. **Journal of Forest Science**, República Tcheca, v. 62, n. 1, p. 8-16, nov. 2016. Doi: 10.17221/120/2014-JFS

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. 4<sup>th</sup> ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 816 p.

KACHIGAN, S. K. Multivariate statistical analysis. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Radius Press, 1991. 303 p.

KLEIN, A. A.; LIMA, R. A. F.; GRANDI, L. F.; MARINHO, C. A inteligência artificial na ergonomia, Kinebot, Curitiba, ed. 1. abr. 2023. DOI: 10.29327/5201957.

KLEIN, A. A.; LEGEY, A. L. C.; ANA MOTTER, A.; CASTRO, E. S.; OKIMOTO, M. L. L. R. Comparative study of RULA evaluations using Kinebot software, **Design, Art and e Technology Journal**, São Paulo, v.7, n.3. jul./ago. 2022

KURASZ, G. Sistema de informações geográficas aplicado ao zoneamento ambiental da Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador/SC. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LANDEKIC, M.; KATUSA, S.; MIJOC, D.; SPORCIC, M. Assessment and comparison of machine operators working posture in forest thinning. **International Scientific Journal in field of Forestry**, Jastrebarsko, v. 10, n. 1, p. 29 - 37, feb. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.15177/seefor.19-02>.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. 3ed. Viçosa: UFV, 2014. p.46-73.

LIMA, C. F.; LIMA, R. C. A.; SOUZA, A. P.; MINETTE, L. J.; SCHETTINO, S.; VIEIRA, M. P. L.; NASCIMENTO, G. S. P. Occupational Noise and Vibration Assessments in Forest Harvesting Equipment in North-eastern Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, Hooghly-BGD, v. 40, n. 5, p. 1-9, sep. 2019. DOI: 10.9734/JEAI/2019/v40i530379

LIMA, R. C. A.; MINETTE, L. J.; SIMÕES, D.; ROCHA, Q. S.; MIYAJIMA, R. H.; FRITZ, G. F.; SCHETTINO, S.; SORANSO, D. R.; NASCIMENTO, G. S. P.; VIEIRA, M. P. L.; SCHETTINI, B. L.; SILVA, A. A. Measurement Time in the Evaluation of Whole-Body Vibration: The Case of Mechanized Wood Extraction with Grapple Skidder. **Forests**, Suíça, v. 14, p. 1551, jul. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f14081551>.

LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C. Ergonomia e segurança do trabalho aplicado no setor florestal. In: SEMANA DE ESTUDOS FLORESTAIS E SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL, 10., 1., 2008, Irati. **ANAIS**. Irati: UNICENTRO, 2008. 21p.

LUVIZOTTO, A. F.; YABIKU, E. M.; MARRA, M. T.; MARRA, M. L.; VIDEIRA, M. M. M.; CALIS, V. C. Estudo sobre a redução do risco de LER/DORT utilizando o questionário bipolar e o método reba (rapid entire body assessment): estudo de caso. **Revista Olhar**, Sorocaba, v. 1. n.1, p. 95-124, jun. 2016.

LYNCH, S.M., SMIDT, M., MERRILL, P.D., SESEK, R.F. Incidence of Msds and neck and back pain among logging machine operators in the southern U.S. **Journal of Agricultural Safety and Health**, v. 20, n. 3, p. 211-218, jul. 2014. Doi: 10.13031/jash.20.10544.

MACHADO, C. C. Introdução. In.: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: 3. Ed. UFV, 2014.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R.; YAMAJI, F. M. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do

planejamento operacional florestal. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p.166-182, mai./ago. 2006.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A. M. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 178- 205.

MARTINS, A. B.; OLIVEIRA, F. M. Análise da exposição à vibração de corpo inteiro em harvesters de esteiras e pneus na operação de desbaste. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 23, n. 2, p. 154-159, jul./dez. 2019.

MARTINS, A. B.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C.; OLIVEIRA, F. M.; PAGNUSSAT M. B. The whole-body vibration in operation of wheeled and tracked harvester in Pinus thinning. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Hong Kong, v. 80, nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103006>.

MARQUES, L.S.; FERRAZ, G.A.E.S.; MOREIRA NETO, J.; MAGALHÃES, R.R.; DE LIMA, D.A.; TSUCHIDA, J.E.; FUZATTO, D.C. Agricultural Machinery Telemetry: A Bibliometric Analysis. **AgriEngineering**, Basileia, v. 4, p. 939-950, out. 2022. Disponível: <https://doi.org/10.3390/agriengineering4040060>.

MARRIOTT, J. H. C. *The interpretation of multiple observations*. London: Academic Press, 1974. 117 p.

MARSHALL, H. 2012. An On-Board Machine Stability Information System. Harvesting Technical Note HTN05-01 (pp. 7) Rotorua, NZ: Future Forest Research Ltd.

MEDERSKI, P. S. et al. Investigation of log length accuracy and harvester efficiency in processing of oak trees. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 39, n. 2, p. 173-181, mar. 2018.

McATAMNEY, L.; CORLETT, E. N. RULA: a survey method for the investigation of world-related upper limb disorders. **Applied Ergonomics**, v. 24, n. 2, p. 91-99, apr. 1993.

MINETTE, L. J.; SCHETTINO, S.; SOUZA, A. P.; SORANSO, D. R.; BARBOSA, V. A. Colheita de madeira danificada pelo vento: carga física de trabalho e risco de LER/DORT aos trabalhadores. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 1, p. 56-65, jan./fev. 2018.

MÚČKA, P. Vibration Dose Value in Passenger Car and Road Roughness. **Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements**, Reston, v. 146, n. 4, p. 1–15, dez. 2020. DOI: 10.1061/JPEODX.0000200. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JPEODX.0000200>. Acesso em: 24 ago. 2024.

OLIVEIRA, F.M.; LOPES, E.S.; KOEHLER, H.S.; BEHLING A. Application of an Integrated Ergonomic Indicator (IEI) in evaluating forest machines. **International Journal of Forest Engineering**, v. 32, p. 256-265, ago 2021. Doi:10.1080/14942119.2021.1937773.

OLIVEIRA, F. M. Método integrado para avaliação ergonômica de máquinas na colheita de madeira. 2019.178 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2019. Disponível em: <https://www3.unicentro.br/ppgf/2020/08/31/metodo-integrado-para-avaliacao-ergonomica-de-maquinas-na-colheita-de-madeira/>. Acesso em 08 de ago. 2023.

OLIVEIRA, F. M.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C.; KOEHLER, H. S. Indicator for urgency assessment in ergonomic intervention of wood harvesting machines. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 44: e4428, mai. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-908820200000028>

OLIVEIRA, M. M.; ANDRADE, S. S. C.; SOUZA, C. A. V.; PONTE, J. N.; SZWARCOWALD, C. L.; MALTA, D. C. Problema crônico de coluna e diagnóstico de distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT) autorreferidos no Brasil: Pesquisa Nacional de Saúde, 2013. *Epidemiol. Serv. Saúde*, 287 Brasília, 24(2): 287-296. 2015.

OLIVEIRA, F. M.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C.; MARTINS, A. B. Visibility and posture of operators in harvesters with lateral and front coupling cranes. **Floresta**, Curitiba, v. 53, n. 2, p. 155 - 164, abr./jun. 2023. DOI: 10.5380/rf.v53 i2. 79482.

PAINI, A. C.; LOPES, E. S.; OLIVEIRA, F. M. Postura corporal de operador no carregamento mecanizado de madeira – estudo de caso. **Enciclopédia Biosfera**, Goiania, v. 13, n. 23, p. 962-974, mai./jun. 2016.

PAINI, A. C.; LOPES, E. S.; SOUZA, A. P.; OLIVEIRA, F. M.; RODRIGUES, C. K. Repetitive motion and postural analysis of machine operators in mechanized wood harvesting operations. **Cerne**, Viçosa, v. 25, n. 2, p.214-220, mai. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01047760201925022617>.

PAINI, A. C.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C.; SOUZA, A. P.; RODRIGUES, C. K.; OLIVEIRA, F. M. Postural analysis and repetitive motions of skidder operators in wood extraction. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48, n. 125, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.12>.

PINHO, M.C.; VAZ, M.P.; AREZES, P.M.; CAMPOS, J.R.; MAGALHÃES, A.B. Lesões músculo-esqueléticas relacionadas com as atividades desportivas em crianças e adolescentes: Uma revisão das questões emergentes. **Motricidade**. Portugal, v. 9, n.1, p.31-49, jan. 2013.

PITZ, N. O.; SAMPIETRO, J. A.; TONETT, E. L.; FERRARI, L. H.; SOARES, P. R. C.; BONAZZA, M.; VARGAS, D. A.; NICOLLETTI, M. F.; ROBERT, R. C. G. Performance of a whole tree mechanised timber harvesting system when clear-felling a 32-year-old *Pinus taeda* L. stand. **New Zealand Journal of Forestry Science**. Rotorua, v. 5q, n. 12, p. 1-10, out. 2021. Disponível em: <https://www.nzjforestryscience.nz/index.php/nzjfs/article/view/96>. Acesso em: 20 nov. 2024. DOI: 10.33494/nzjfs512021x96x.

PHAIRAH, K.; BRINK, M.; CHIRWA, P.; TODD, A. Operator work-related musculoskeletal disorders during forwarding operations in South Africa: an ergonomic

assessment. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**. Africa do Sul, v. 78, n. 1, p. 1-9, apr. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2989/20702620.2015.1126781>

PRATES, E.; LOPES, E.S.; RODRIGUES, C.K; SILVA, M.K.C.; SILVA, D.A. Productivity and quality in the processing wood operation for energy. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 47, mai. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-908820230000009>.

ROTTENSTEINER, C.; TSIORAS, P.; NEUMAYER, H.; STAMPFER, K. Vibration and noise assessment of tractor-trailer and truck-mounted chippers. **Silva Fennica**, Helsinki-FI, v. 47, n. 5, p. 1-14, nov. 2013. Disponível em: <https://silvafennica.fi/pdf/article984.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2024. DOI: 10.14214/sf.984.

SANT'ANNA, C. M. Corte. In: MACHADO, C. C.; **Colheita Florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 74-105.

SANTOS, L. N.; FERNANDES H. C.; SOUZA, A. P.; FURTADO JÚNIOR, M. R.; SILVA, R. M. F. Avaliação dos níveis de ruído e vibração de um conjunto trator-pulverizador, em função da velocidade de trabalho. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 112-118, mar./abr. 2014.

SANTOS, D.W.F.; VALENTE, D.S.M.; FERNANDES, H.C.; SOUZA, A.P.; MINETTE, L.J. Influence of pump pressure and engine speed on ergonomic parameters of forwarder operators. **Revista Árvore**, Viçosa, v.44, e. 4425, abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-908820200000025>.

SANTOS, V. P.; LIMA, R. C. A.; NASCIMENTO, G. S. P.; VIEIRA, M. P. L.; SCHETTINO, S.; MINETTE, L. J. Avaliação censitária de acidentes florestais no norte do espírito santo. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS DO ESPÍRITO SANTO, 2., 2019, Jerônimo Monteiro, ES. **Anais** [...]. Jerônimo Monteiro, ES: SCIFLOR, 2019. p. 279-284. Disponível em: [https://cienciasflorestais.ufes.br/sites/cienciasflorestais.ufes.br/files/field/anexo/ii\\_sciflor\\_es.pdf](https://cienciasflorestais.ufes.br/sites/cienciasflorestais.ufes.br/files/field/anexo/ii_sciflor_es.pdf). Acesso em: 20 dez. 2024.

SCHLOSSER, J. F.; DALLMEYER, A.; DEBIASI, H.; MENEGAS, M. T.; NIETIEDT, G. H. Alteração do campo visual em função do uso de cabinas em tratores agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.359-366, mar./abr. 2011.

SCHETTINO, S.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. L.; SOUZA, A. P. Avaliação ergonômica do processo de mensuração florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 575-586, out. 2016.

SCHETTINO, S.; CAMPOS, J. C. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. Work precariousness: ergonomic risks to operators of machines adapted for forest harvesting. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 41, n. 1, e410109, set. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000100009>.

SCHETTINO, S.; LIMA, R. C. A.; VIEIRA, M. P. L.; MINETTE, L. J.; MENEZES, R. V. F. Avaliação do Ruído Ocupacional em Operadores de Feller-Buncher no Sudoeste

do Maranhão. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 9, 2019, Ponta Grossa. Anais do ConBRepro 2019. Disponível em: <https://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/>.

SHERWIN, L. M.; OWENDE, P. M. O.; KANALI, C. L.; LYONS, J.; WARD, S. M. Influence of tyre inflation pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber harvester. **Applied Ergonomics**, Pensilvânia, v. 35, p. 253-261, mai. 2004.

SILVA, E. P.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; MARÇAL, M. A.; SANCHES, A. L. P. Fatores organizacionais e psicossociais associados ao risco de LER/DORT em operadores de máquinas de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.5, p.889-895, ago. 2013.

SILVA, E. P.; MINETTE, L. J.; SANCHES, A. L. P.; SOUZA, A. P.; SILVA, F. L.; MAFRA, S. C. T. Prevalência de sintomas osteomusculares em operadores de máquina de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.4, p.739-745, jun. 2014.

SOUZA, A. P.; DUTRA, R. B. C.; MINETTE, L. J.; MARZANO, F. L. C.; SCHETTINO, S. Metas de produção para trabalhadores de corte florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.4, p.713-722, jul./ago. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000400014>

SKOGFORSK – THE FORESTRY RESEARCH INSTITUTE OF SWEDEN. **Ergonomic guidelines for forest machines**. Uppsala: Swedish National Institute for Working Life, 1999. 86 p.

SLÁMA, D.; MERGL, V.; PAVLÍKOVÁ, E.A. Analysis of the heart rate of operators of forwarding machines during work activities. **Forests**, Basileia, v. 14, p. 1348, jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f14071348>.

STANĚK, L.; MERGL, V. Whole Body Vibrations during Fully Mechanised Logging. **Forests**. Basel, v. 13, n. 4, p. 1-12, abr. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/4/630>. Acesso em: 21 nov. 2024. DOI: 10.3390/f13040630.

STRANDGARD, M.; ALAM, M.; MITCHELL, R. Impact of Slope on Productivity of a Self-levelling Processor. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 35, n. 2, p. 193–200, mar. 2014.

STENLUND, T.; LUNDSTRÖM, R.; LINDROOS, O.; REHN, B.; ÖHBERG, F. Seated postural loads caused by shock-type whole-body vibration when driving over obstacles. **International Journal of Forest Engineering**, Nova Iorque, v. 31, n. 3, p. 184-191, abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14942119.2020.1761745>.

ŠUŠNJAR, M.; PANDUR, Z.; ZEČIĆ, Z.; KOPSEAK, H.; BAČIĆ, M. Skidder Operator Vibration Exposure. In Proceedings of the 8th International Ergonomics Conference, Zagreb, 2–5 December 2020; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2021; p. 25–32.

THEES, O.; FRUTIG, F.; FENNER, P. T. Colheita de madeira em terrenos acidentados – Recentes desenvolvimentos técnicos e seu uso na Suíça. XVI. Seminário de atualização em sistemas de colheita e transporte florestal. Anais, 2011, p125.

TIEMESSEN, I. J.; HULSHOF, C. T. J.; FRINGS-DRESEN, M. H. W. An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: A systematic review. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Hong Kong, v. 37, p. 245–256, Jan. 2007.

VISSER, R.; BERKETT, H. Effect of terrain steepness on machine slope when harvesting. **International Journal of Forestry Engineering**, Inglaterra, v. 26, e. 1, p. 1-9, abr. 2015.

ZAHRA ARMAN, Z.; NIKOOY, M.; TSIORAS, P.A.; HEIDARI, M.; MAJNOUNIAN, B. Mental Workload, Occupational Fatigue and Musculoskeletal Disorders of Forestry Professionals: The Case of a Loblolly Plantation in Northern Iran. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 43, n. 2, p.403-424, mar/nov. 2022.

# **ANEXOS**

## Anexo I – Responsabilidade Ética



UNICENTRO - UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO CENTRO  
OESTE - CAMPUS DE IRATI



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** ANÁLISE TÉCNICA E ERGONÔMICA NAS OPERAÇÕES DE COLHEITA DA MADEIRA EM DIFERENTES CENÁRIOS OPERACIONAIS

**Pesquisador:** EDUARDO DA SILVA LOPES

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 59914522.3.0000.8967

**Instituição Proponente:** Universidade Estadual do Centro Oeste - Campus de Irati

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 5.613.098

#### Apresentação do Projeto:

Resposta a pendências decorrentes da primeira apreciação do projeto

#### Objetivo da Pesquisa:

Inalterado

#### Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Inalterada conforme parecer CEP sob número 5.506.156, de 03 de julho de 2022.

#### Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A folha de rosto foi retificada, com assinatura do vice-coordenador do programa de pós-graduação em ciências florestais como responsável institucional, ao invés do próprio pesquisador responsável pela pesquisa.

#### Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Permanecem postados na Plataforma Brasil:

Informações básicas do projeto;

Carta de anuência da empresa;

Folha de rosto modificada;

Projeto detalhado;

Cronograma;

TCLE.

Endereço: PR 153 Km 07 - Prédio principal, térreo (jardim de inverno da antiga biblioteca)

Bairro: Riozinho

CEP: 84.505-677

UF: PR

Município: IRATI

Telefone: (42)3421-3051

Fax: (42)3421-3000

E-mail: cep\_irati@unicentro.br



Continuação do Parecer: 5.613.098

**Recomendações:**

- 1) Segundo as Resoluções 466/2012 e 510/2016, é de responsabilidade do pesquisador "manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa";
- 2) Segundo a Resolução 466/2012 o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) deve ser emitido em duas vias de igual teor. Todas as vias devem ser assinadas pelo pesquisador responsável e pelo participante. Uma via deverá ser entregue ao participante e a outra fará parte dos documentos do projeto, a serem mantidos sob a guarda do pesquisador.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Pesquisa em conformidade com determinações das Resoluções 466/2012 e 510/2016.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

De acordo com a Resolução 510/2016 é responsabilidade do pesquisador "apresentar no relatório final que o projeto foi desenvolvido conforme delineado, justificando, quando ocorridas, a sua mudança ou interrupção".

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1970431.pdf	01/08/2022 21:32:18		Aceito
Outros	Folhaderostomodificado.pdf	01/08/2022 21:31:54	EDUARDO DA SILVA LOPES	Aceito
Outros	cartarespostaspendencias.pdf	01/08/2022 21:30:56	EDUARDO DA SILVA LOPES	Aceito
Declaração de concordância	declar.pdf	21/06/2022 16:21:35	EDUARDO DA SILVA LOPES	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projetoPesquisa.pdf	21/06/2022 16:18:33	EDUARDO DA SILVA LOPES	Aceito
Cronograma	cronograma.pdf	21/06/2022 16:18:10	EDUARDO DA SILVA LOPES	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	21/06/2022 16:16:38	EDUARDO DA SILVA LOPES	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto.pdf	21/06/2022 16:14:18	EDUARDO DA SILVA LOPES	Aceito

Endereço: PR 153 Km 07 - Prédio principal, térreo (jardim de inverno da antiga biblioteca)

Bairro: Riozinho

CEP: 84.505-677

UF: PR

Município: IRATI

Telefone: (42)3421-3051

Fax: (42)3421-3000

E-mail: cep\_irati@unicentro.br



UNICENTRO - UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO CENTRO  
OESTE - CAMPUS DE IRATI



Continuação do Parecer: 5.613.098

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

IRATI, 30 de Agosto de 2022

---

**Assinado por:**  
**Cristiana Magni**  
**(Coordenador(a))**

Endereço: PR 153 Km 07 - Prédio principal, térreo (jardim de inverno da antiga biblioteca)  
Bairro: Riozinho CEP: 84.505-677  
UF: PR Município: IRATI  
Telefone: (42)3421-3051 Fax: (42)3421-3000 E-mail: cep\_irati@unicentro.br

## Anexo II – TCLE

### UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE – UNICENTRO PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – PROPESP COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA – COMEP

#### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Prezado(a) Colaborador(a),

Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa **“ANÁLISE TÉCNICA E ERGONÔMICA NAS OPERAÇÕES DE COLHEITA DA MADEIRA EM DIFERENTES CENÁRIOS OPERACIONAIS”**, sob a responsabilidade de Eduardo da Silva Lopes, que irá investigar o estudo de tempos e movimentos das atividades de corte, extração e carregamento, analisando os tempos produtivos e improdutivos e respectivas causas, determinação da eficiência operacional, rendimento energético e produtividade. Em seguida, será realizada uma análise ergonômica contemplando os fatores ambientais (conforto térmico, ruído e vibração) e análise das posturas adotadas pelos operadores nas máquinas avaliadas. Gerando informações relevantes acerca da capacidade técnica e ergonômica das atividades de colheita da madeira em uma empresa florestal, subsidiando os gestores na tomada de decisão com vistas ao aumento de produtividade, redução de custos e melhoria nas condições de segurança e saúde dos trabalhadores.

**1. PARTICIPAÇÃO NA PESQUISA:** Ao participar desta pesquisa, serão realizadas filmagens através de câmeras instaladas nas cabines das máquinas de forma a registrar a sua postura durante a jornada de trabalho. As imagens obtidas serão de total sigilo, sem qualquer identificação do operador. Para as análises de ruído, vibração e temperatura, serão instalados na cabine aparelhos medidores. Os aparelhos não serão fixados no corpo, e sim na máquina. Lembramos que a sua participação é voluntária, você tem a liberdade de não querer participar, e pode desistir, em qualquer momento, mesmo após ter iniciado o(a) os(as) avaliações sem nenhum prejuízo para você.

**2. RISCOS E DESCONFORTOS:** Entende-se que o presente estudo apresenta risco quanto a confidencialidade, pois serão registradas imagens do trabalhador durante toda a jornada de trabalho. Os equipamentos serão instalados no interior da cabine da máquina próximo ao operador e no caso do medidor de ruído será instalado direto no corpo do operador, havendo assim o risco de distração por parte do operador. Se você precisar de algum tratamento, orientação, encaminhamento, etc., por se sentir prejudicado por causa da pesquisa, ou sofrer

algum dano decorrente da mesma, o pesquisador se responsabiliza por prestar assistência integral, imediata e gratuita.

**3. BENEFÍCIOS:** Os benefícios esperados com o estudo são a identificação e quantificação de posturas incorretas durante as operações de colheita de madeira, além de avaliar se a exposição ao ruído, vibração e temperatura estão sendo prejudiciais. Dessa forma sendo possível corrigi-los posteriormente e evitar possíveis danos a sua saúde futuramente e verificação da produtividade das operações para diminuição dos custos operacionais e aumento da produção.

**4. CONFIDENCIALIDADE:** Todas as informações que o(a) Sr.(a) nos fornecerá ou que sejam conseguidas por avaliações serão utilizadas somente para esta pesquisa. Suas imagens ficarão em segredo e seu nome não aparecerá em lugar nenhum dos(as) fitas nem quando os resultados forem apresentados.

**5. ESCLARECIMENTOS:** Se tiver alguma dúvida a respeito da pesquisa e/ou dos métodos utilizados na mesma, pode procurar a qualquer momento o pesquisador responsável.

**Nome do pesquisador responsável: Eduardo da Silva Lopes**

**Endereço: RUA ALFREDO BUFREN, CENTRO, 787, cep.84500-056, IRATI-PR.**

**Contato: (42) 99962-6740**

**Horário de atendimento: 8h as 17h**

**6. RESSARCIMENTO DAS DESPESAS:** Caso o(a) Sr.(a) aceite participar da pesquisa, não receberá nenhuma compensação financeira.

**7. CONCORDÂNCIA NA PARTICIPAÇÃO:** Se o(a) Sr.(a) estiver de acordo em participar deverá preencher e assinar o Termo de Consentimento Pós-esclarecido que se segue, em **duas vias**, sendo que uma via ficará com você.

### **CONSENTIMENTO PÓS INFORMADO**

Pelo presente instrumento que atende às exigências legais, o Sr.(a) \_\_\_\_\_, portador(a) da cédula de identidade \_\_\_\_\_, declara que, após leitura minuciosa do TCLE, teve oportunidade de fazer perguntas, esclarecer dúvidas que foram devidamente explicadas pelos pesquisadores, ciente dos serviços e procedimentos aos quais será submetido e, não restando quaisquer dúvidas a respeito do lido e explicado, firma seu CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO em participar voluntariamente desta pesquisa.  
E, por estar de acordo, assina o presente termo.

Guarapuava, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do participante / Ou Representante legal

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Pesquisador