



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE AGRONOMIA**

**JÚLIO CÉSAR BARBOZA DANTAS**

**FATORES QUE INFLUENCIAM A VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO  
INTEIRO EM TRATORES AGRÍCOLAS**

**FORTALEZA**

**2021**

JÚLIO CÉSAR BARBOZA DANTAS

FATORES QUE INFLUENCIAM A VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO INTEIRO  
EM TRATORES AGRÍCOLAS

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Viviane Castro dos Santos.

Co-orientador: Eng. Agrônomo Lucas Fernando Araújo Santos

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

D213f Dantas, Júlio César Barboza.  
Fatores que influenciam a vibração ocupacional de corpo inteiro em tratores agrícolas / Júlio César Barboza Dantas. – 2021.  
92 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Viviane Castro dos Santos.  
Coorientação: Prof. Lucas Fernando Araújo Santos.

1. Mecanização. 2. Vibração. 3. Tratores. 4. Saúde. I. Título.

CDD 630

---

JÚLIO CÉSAR BARBOZA

FATORES QUE INFLUENCIAM A VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO INTEIRO  
EM TRATORES AGRÍCOLAS

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia  
do Centro de Ciências Agrárias da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 20/08/2021

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Viviane Castro dos Santos (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Enio Costa  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

---

Prof. Dr. Deivielison Ximenes Siqueira Macedo  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Agrônomo. Lucas Fernando de Araújo Santos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

A minha avó, Anita.

## AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus todo poderoso, causa, motivo e razão, a quem devo minha existência, entendendo sua imagem e semelhança no amor que recebo dele, através daqueles que me cercam.

A minha mãe, Ana Célia, que sempre me apoiou em toda e qualquer empreitada que termine em crescimento.

A minha companheira Daniela que persevera ao meu lado, mesmo me conhecendo por completo, em todas as minhas falhas e que me ama apesar delas.

A minha orientadora professora, Dra. Viviane, pela compreensão, paciência, empatia e conhecimento depositados.

A Universidade Federal do Ceará que me deu uma experiência homérica, em todos os aspectos da minha vida.

Aos meus inúmeros colegas e as suas histórias, as quais tive o privilégio de conhecer e participar e que, de algum jeito maravilhoso, somaram-se a minha, engrandecendo ainda mais o prólogo que por hora ensaia seu fim.

Aos meus amigos Luiz Tiago e Lucas Fernando, por tantas coisas que vão desde ensinar um estudante de humanas a resolver um binômio de Newton, ao incentivo para que eu voltasse ao berço das humanidades e passasse no mestrado acadêmico, que cursei paralelamente ao presente curso.

Ao meu amigo Eduardo, pelo companheirismo e infinitas conjecturas sobre como ganhar dinheiro, pelas caronas de táxi sem cobrar e pelos inúmeros momentos de risos, para que não fossem soluços.

Aos meus amigos Herbson Luz e Adão Barros, pelos seus exemplos de vida, pela humildade e cumplicidade, por me mostrarem que não importa quando, que não há idade para começar algo novo e até mesmo pelos questionamentos regados a ceticismo.

Aos meus amigos Caíque e Honório, por sempre me ajudarem em tudo que podiam e por serem tão solícitos nos momentos de desespero pré-prova.

Ao meu amigo *summa cum laude*, Timóteo, uma das mentes mais brilhantes que tive o prazer de conhecer, escondido em um corpo de menino franzino de 16 anos, mas que me ensinou que eu não sei nada sobre disciplina e sobre dificuldade.

Ao R.U, as vezes por matar a minha fome de maneira acessível, as vezes por poupar minha vida, mas acima de tudo, por proporcionar os almoços filosóficos mais agradáveis que já tive e que juntou todos que acima citei para dividir risos, choros, esperanças, frustrações, sucessos, vitórias e tudo mais o que compuseram este maravilhoso momento, do qual jamais me esquecerei. É graças a todos esses e tudo isso que este trabalho foi escrito.

Will you rather find purpose? Then a job or career? Purpose crosses disciplines. Purpose is an essential element of you. It is the reason you're on the planet at this particular time in history. Your very existence is wrapped up in the things you are here to fulfill. Whatever you choose for your career path, remember, the struggles along the way are only meant to shape you for your purpose.

Chadwick Boseman

## RESUMO

A mecanização agrícola trouxe com os avanços tecnológicos, não apenas a otimização da produtividade com o aperfeiçoamento da mão de obra e uso de máquinas, mas transformou as relações de trabalho no campo e na forma a qual os trabalhadores são expostos a novos agentes, dentre eles, a vibração. A vibração ocupacional é um agente físico, potencialmente nocivo ao corpo. Operadores de tratores agrícolas passaram a ser expostos, todos os dias a este agente em alguma intensidade, podendo apresentar doenças, ou problemas de saúde que vão desde enjô e tonturas, até sérias lesões musculoesqueléticas na região da coluna vertebral. O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão de bibliografia referente a cinco dos principais fatores que influenciam nos níveis vibração de corpo inteiro durante as operações mecanizadas no meio agrícola, investigando de que forma eles agem. Os fatores que influenciam na vibração de corpo inteiro analisados no estudo foram: velocidade de deslocamento, superfície de rolamento, tipos de pneus, pressão interna dos pneus e uso de implementos. As avaliações apontaram para a influência diretamente proporcional com o aumento da velocidade de operação e do uso de implementos de preparo do solo, no aumento dos índices de vibração, no corpo do operador e para a necessidade de mais estudos individuais e correlações, assim como evidenciou-se a necessidade de análises de vibração específicas para cada operação agrícola.

**Palavras-chave:** Mecanização. Vibrações. Tratores.

## **ABSTRACT**

Agricultural mechanization has brought with it technological advances, not only the optimization of productivity with the improvement of labor and the use of machines, but has also transformed labor relations in the field and the way workers are exposed to new agents, among them, vibration. Occupational vibration is a physical agent, potentially harmful to the body. Agricultural tractor operators are exposed every day to this agent in some intensity, and may present diseases or health problems ranging from nausea and dizziness to serious musculoskeletal lesions in the spinal column region. The objective of this study was to perform a literature review of five of the main factors that influence whole body vibration levels during mechanized operations in the agricultural environment, investigating how they act. The factors that influence whole body vibration analyzed in the study were: travel speed, rolling surface, tire types, internal tire pressure, and the use of implements. The evaluations pointed to the directly proportional influence with the increase of the speed of operation and the use of soil preparation implements, in the increase of vibration indices, in the operator's body and the need for further individual studies and correlations, as well as the need for specific vibration analyses for each agricultural operation.

**Keywords:** Mechanization. Vibration. Tractor.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Exemplos de máquinas desenvolvidas para a agricultura no século XVIII.....	20
Figura 2- Evolução cronológica dos tratores.....	21
Figura 3- Pirâmide de acidentes de Bird. ....	25
Figura 4- Eixos triortogonais de propagação de vibrações.....	37
Figura 5 - Frequências naturais de vibração presentes no corpo humano. ....	38
Figura 6- Doença do dedo branco em mãos de operadores de máquinas.....	39
Figura 7- Eixos corporais adotados para aferição de vibração.....	44
Figura 8- Posicionamento de sensor para aferição de VCI em trabalhadores sentados .....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Porcentagem de utilização de insumos agrícolas no Brasil (1975-2014). .....	19
Gráfico 2- Respostas audiométricas a altas frequências por grupo de exposição. ....	29
Gráfico 3- Leitura de frequência vibracional. ....	44
Gráfico 4- Transmissibilidade do assento a $2\text{m/s}^2$ r.m.s para diferentes posturas: (1) relaxado (.....), (2) desleixado (____), (3) tenso ( - - -), (4) com encosto para as costas (-.-.-). ....	50
Gráfico 5- Recorrência de doenças no Brasil 2004-2013. ....	50
Gráfico 6- Aceleração vertical na parte superior e na base do assento na primeira marcha. ...	57
Gráfico 7- Aceleração vertical na parte superior e na base do assento na segunda marcha. ....	57
Gráfico 8- Aceleração vertical na parte superior e na base do assento na segunda marcha. ....	58
Gráfico 9- Espectros de frequência para o eixo traseiro durante a operação de aragem: (a) velocidade de avanço V1 com tração dianteira desligada, (b) velocidade de avanço V1 com tração dianteira ligada, (c) velocidade de avanço V3 com tração dianteira desligada. ....	59
Gráfico 10- Espectros de frequência para o eixo dianteiro durante a operação de aragem: (a) velocidade de avanço V1 com tração dianteira desligada, (b) velocidade de avanço V1 com tração dianteira ligada, (c) velocidade de avanço V3 com tração dianteira ligada. ....	59
Gráfico 11- Valores médios de aren individualizados por tratamento. ....	64
Gráfico 12- Valores médios de VDVR individualizados por tratamento. ....	64
Gráfico 13- Valores médios de aceleração nos eixos x,y,z para cada superfície de rolamento. ....	65
Gráfico 14- Análise do valor eficaz (RMS) nos três eixos corporais (x,y,z) e valor total para pneus diagonais. ....	67
Gráfico 15- Análise do valor eficaz (RMS) nos três eixos corporais (x,y,z) e valor total para pneus radiais. ....	68
Gráfico 16- Valor de dose de vibração (VDV) nos três eixos e total em 3 pressões internas diferentes para pneus diagonais. ....	68
Gráfico 17- Valor de dose de vibração (VDV) nos três eixos e total em 3 pressões internas diferentes para pneus radiais. ....	69
Gráfico 18- Projeção A(8) para exposição de 8 horas de trabalho, nos dois tipos de pneus. ...	69
Gráfico 19- Espectro de frequência para vibração vertical na base do assento de acordo com as diferentes rotações do motor e as três pressões internas adotadas: 83 kPa (a), 103 kPa (b) e 124 kPa (c). ....	76
Gráfico 20- Vibração ( $A_v$ ) em função da pressão de insuflação dos pneus (P) e da velocidade	

do trator (V), equação ajustada e coeficiente de determinação ( $r^2$ ). * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.....	77
Gráfico 21- Variação da aceleração RMS no trator com diferente configurações de pressão interna.....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Número de tratores por regiões brasileiras 1970-1980. ....	21
Tabela 2- Demanda percentual de tratores por regiões do mundo. ....	22
Tabela 3- Produção e venda, em unidades, de tratores agrícolas 2000-2002. ....	23
Tabela 4. Prevalência de morbidades em trabalhadores. ....	30
Tabela 5- Ações recomendadas para valores de $a_{ren}$ e VDVR. ....	48
Tabela 6- Aceleração média resultante ( $m\ s^{-2}$ ) com diferentes lastragens e velocidades de deslocamento. ....	56
Tabela 7- Valores da dose de vibração ( $m.s^{1.75}$ ) com diferentes lastragens e velocidades de deslocamento. ....	56
Tabela 8 - Valores da dose de vibração ( $m/s^{1.75}$ ) com e sem uso de implemento em três superfícies de rolamento diferentes. ....	62
Tabela 9- Valores de projeção A (8) para jornadas de trabalho com e sem uso de implemento em três superfícies de rolamento distintas. ....	62
Tabela 10- Valores médios de $a_{ren}$ , VDVR e P <sub>MAXR</sub> por parâmetro avaliado. ....	63
Tabela 11- Equações ajustadas para aceleração longitudinal (RMS). ....	70
Tabela 12- Equações ajustadas para aceleração vertical (RMS) ....	70
Tabela 13- Valores de aceleração resultante normalizada e valor de dose de vibração resultante para trator operando sem implemento e com 5 conjuntos diferentes com velocidade de deslocamento de 6,1 km. ....	73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação de doenças de Schilling.....	28
Quadro 2- Classificação de riscos ambientais por agentes diversos. ....	33
Quadro 3-Sintomas da exposição a ressonância.....	39
Quadro 4- Enfermidades relativas a exposição de vibração em excesso .....	40
Quadro 5- Sintomas oriundos de frequências vibracionais no corpo inteiro.....	49
Quadro 6- Resumo de responsabilidades da Diretiva Europeia 2002/44/CE.....	52
Quadro 7- Fatores que podem influenciar na atividade vibratória. ....	53
Quadro 8-Distribuição de pressões utilizadas nos pneus dianteiros e traseiros. ....	78

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>ASPECTOS GERAIS</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Revolução verde: Um novo paradigma</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>A evolução dos tratores agrícolas</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.1</b>	<i>Mecanização agrícola no Brasil</i> .....	<b>22</b>
<b>2.3</b>	<b>Segurança no trabalho rural</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3.1</b>	<i>Doenças ocupacionais</i> .....	<b>27</b>
<b>2.3.2</b>	<i>Normas regulamentadoras</i> .....	<b>30</b>
<b>2.4</b>	<b>Ergonomia</b> .....	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>VIBRAÇÃO OCUPACIONAL</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Vibração de corpo inteiro (VCI)</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2</b>	<b>Efeitos da exposição de corpo inteiro a vibração na saúde do operador</b> .....	<b>48</b>
<b>4.3</b>	<b>Medidas de segurança contra a exposição à vibração</b> .....	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>FATORES QUE INFLUENCIAM NA VIBRAÇÃO DO TRATOR AGRÍCOLA</b> <b>53</b>	
<b>5.1</b>	<b>Velocidade de deslocamento</b> .....	<b>54</b>
<b>5.2</b>	<b>Superfície de rolamento</b> .....	<b>61</b>
<b>5.3</b>	<b>Tipos de pneus</b> .....	<b>67</b>
<b>5.4</b>	<b>Uso de implementos agrícolas</b> .....	<b>71</b>
<b>5.5</b>	<b>Pressão interna de ar nos pneus</b> .....	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>80</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>82</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola é uma realidade cada vez mais crescente e necessária no cenário mundial, principalmente no que tange países exportadores, como é o caso do Brasil. Nos dias atuais, em que o binômio produtividade x sustentabilidade busca equilíbrio em meio aos desafios do sistema econômico, a otimização do espaço agricultável é um fator que ameniza a necessidade de expansão das fronteiras agrícolas, ao mesmo tempo em que atua na elasticidade da produção, de maneira a atender a demanda do mercado.

Com a herança do pacote tecnológico oriundo do pós-guerra, o objetivo mais tangível e consoante com uma agricultura sustentável, que se mostra alternativa viável, é produzir mais em menor espaço, para tanto, o desenvolvimento de máquinas cada vez mais precisas aumenta, bem como a frequência de sua utilização.

Com o advento da mecanização, tornando-se uma realidade cada vez mais consolidada e o crescimento do mercado agrícola, o processo de produção também eleva sua exigência, para que não haja espaço para subotimização. Dentro deste processo, embora as máquinas desempenhem função vital na produção em larga escala, não se pode ignorar o componente humano e como o mesmo se comporta diante da exigência do processo produtivo mecanizado, uma vez que, havendo problemas que vão desde a qualificação e certificação de profissionais, até as condições de trabalho às quais estes estão expostos, podem-se notar impactos consideráveis e diretos na produtividade.

O aprimoramento tecnológico, portanto, não deve ser encarado como um processo unilateral, dependente apenas do tipo de maquinário utilizado, mas de um conjunto de ferramentas, que abarca desde o conhecimento técnico das máquinas utilizadas, suas limitações e condições ótimas de trabalho, até sua execução por profissional devidamente habilitado, de maneira adequada às características do trabalho a que se tem acesso.

É, portanto, na relação homem-máquina que se fundamenta este trabalho. Tal relação encontra lugar no que conhecemos como ergonomia, um conjunto de estudos e ações caracterizadas pela adaptação da atividade ocupacional ao trabalhador de modo a não gerar, eliminar, ou diminuir possíveis impactos à saúde do mesmo.

É dentro desta esfera que residem as formas de avanço da produtividade e do processo laboral, assim como grande parte dos problemas que impedem, muitas vezes, a padronização das atividades, bem como seus resultados, sendo a vibração um desses obstáculos. Além disso, doenças, acidentes, e outros fatores envolvidos na execução do serviço podem gerar uma produção aquém do objetivo da agricultura de precisão.

Diante disso, é necessário que se compreenda como diferentes fatores podem influenciar na emissão de vibração, assim como entender de que forma esses fatores refletem no desempenho da atividade realizada de maneira geral e seus impactos para saúde do operador.

O escopo do presente estudo aprofunda-se em um fator ergonômico presente na utilização de máquinas agrícolas, a vibração, que está, como veremos ao longo desta revisão, ligada não apenas a produtividade, como também à saúde e segurança do trabalhador rural ao longo da atividade laboral.

## **1.1 Objetivo Geral**

Realizar uma revisão de bibliografia referente a cinco dos principais fatores que influenciam nos níveis vibração de corpo inteiro durante as operações mecanizadas no meio agrícola, investigando de que forma eles agem.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Analisar as normas regulamentadoras e o que estabelecem sobre a vibração ocupacional;
- Relacionar as influências da exposição a vibração de corpo inteiro e seus efeitos sobre a saúde do trabalhador rural;
- Elencar e discutir os principais fatores que influenciam nos níveis de vibração de corpo inteiro em tratores agrícolas;

## 2 ASPECTOS GERAIS

Para que possamos nos debruçar sobre os estudos atualmente desenvolvidos acerca da vibração ocupacional e sua influência na atividade agrícola, devemos ter em mente que tal implicação foi fruto de um processo de especificação técnico-científico, trata-se de um fator que só pôde ser observado e estudado após a mecanização que, por sua vez, adveio de necessidades de produção e que, em primeiro momento, não levava em conta a saúde e a segurança do trabalhador, nem a influência das condições de trabalho na produtividade. Tendo em vista que estes fatores nem mesmo eram conhecidos, só puderam ser observados a posteriori, também como resultado da necessidade cada vez maior de produzir mais.

Dito isto, faz-se importante que entendamos, em um primeiro momento, o panorama geral no qual está inserida a necessidade de renovação das técnicas de produção, desde seu momento histórico determinado, em que contexto e com que propósitos o processo de mecanização agrícola surgiu, até o desenvolvimento das consequências que apontaram para necessidade de um olhar mais apurado para o operador de máquinas.

Encarando a tecnologia como processo de constante modificação, temos na revolução verde o ponto de partida que possibilitou o estudo que agora é erigido, com o pós-guerra configurando, a Europa como um cenário devastado a ser reconstruído, aliado a uma grave crise de abastecimento, acarretada pela demanda de diversos insumos durante a guerra, o processo de industrialização do campo não se tornou apenas necessário, mas urgente.

Para remediar as necessidades oriundas do fim da segunda guerra mundial, especificamente a fome de milhões na Ásia e África (HENRIQUES, 2009), bem como acirrar a corrida tecnológica que culminou logo em seguida com a guerra fria, a tecnologia voltou-se para o processo de industrialização do campo. O pacote tecnológico buscou adaptar os meios de produção oriundos da segunda revolução industrial de 1870 à realidade do campo, para tanto foram implementados fertilizantes minerais, produtos fitossanitários<sup>1</sup>, variedades de plantas adaptadas e resistentes e principalmente máquinas agrícolas, com motor de combustão, ou elétricos (MAZOYER; HOUDART, 2010), neste momento tornou-se possível conduzir o estudo ora proposto.

Os tratores agrícolas sofreram profundas transformações desde seu surgimento, quando eram ainda máquinas híbridas movidas por tração animal e pesos absurdos. Somente em 1890 o americano John Froelich desenvolveu o primeiro trator a gasolina e este

---

<sup>1</sup> Entendem-se por produtos fitossanitários de maneira geral: inseticidas, herbicidas, acaricidas, fungicidas.

permaneceria inalterado por mais de duas décadas (CARPANEZZI *et. al.*, 2018). As mudanças ocorridas nesse intervalo são provenientes de ensaios científicos de produtividade e adaptações que foram sentidas ao longo do aprimoramento da mecanização rural.

Apesar de ter início documentado no pós-guerra, no Brasil, até 1960, não havia nenhuma empresa de tratores situada em território nacional, sendo as máquinas, em sua maioria, importadas dos Estados Unidos e Europa (NETO, 1985), isto acarretava uma série de problemas com a reposição de peças e mesmo com a adaptabilidade, uma vez que eram máquinas construídas para condições diferentes de relevo, solo e clima. Somente na década de 70 o Brasil afirmou-se como um dos maiores produtores agrícolas do mundo (ALVES, 2013).

Sem manutenção e operação qualificadas, além de diminuírem o nível de produção, as máquinas podem tornar o ambiente de trabalho sujeito ao desenvolvimento de doenças ocupacionais e acidentes de trabalho (REIS; MACHADO, 2009). Dados da Organização Internacional do Trabalho (OIT), relatam 3 mil mortes anuais em virtude de acidentes fatais na operação de máquinas, sendo que, um a cada três acidentes resulta em vítima incapacitada.

Podemos então inferir que o alto índice de acidentes, que está relacionado a operação por profissionais qualificados e certificados, ainda assim apresenta vários riscos e cargas laborais (LAURELL; NORIEGA, 1989), estes não apenas vitimam trabalhadores, mas apresentam potencial para ocasionar o desenvolvimento de doenças ocupacionais capazes de causar prejuízos irreparáveis a saúde do trabalhador (REIS; MACHADO, 2009).

Segundo Reis e Machado (2009), as causas dos acidentes com máquinas agrícolas estão categorizados em quatro grupos principais, sendo eles: atos inseguros, condições inseguras, fatores pessoais e demais causas específicas. Pode-se perceber que um problema relacionado a níveis inadequados de vibração, que é o alvo da presente pesquisa, associa-se a qualquer um desses grupos.

Como exemplo dessas relações suponha-se que o operador pode ser levado a cometer um ato inseguro devido ao excesso de exposição a vibração, comumente acompanhada de ruído excessivo, fazendo com que o mesmo se distraia e ignore um procedimento padrão (LAURELL; NORIEGA, 1989 *apud* SCOPINHO *et. al.*, 1999)

A própria condição inadequada pode tornar o trabalho inseguro a longo prazo e insalubre, assim como um trabalhador com dores nas articulações, pode cometer uma imperícia por estar estressado, ou emocionalmente instável em virtude do problema de saúde ocasionado pela própria atividade.

Percebe-se então, como a influência de um risco físico age de diversas formas na relação homem- máquina e a importância de se levar em conta a medição e controle desses

agentes a fim de mitigar o risco de acidente e incapacitação do trabalhador.

Tendo em vista a diminuição dos acidentes, a otimização do processo produtivo, o aumento da longevidade dos implementos e máquinas agrícolas e a garantia da saúde e segurança do trabalhador rural, foram criadas pelo Ministério do Trabalho as Normas Regulamentadoras Rurais (NRR), em conformidade ao artigo 13 da lei de número 5.889 de 08 de junho de 1973, estabelecida durante o governo Médici. As NRR como ficaram conhecidas, mais tarde, em 2008, foram revogadas para dar atribuição a Norma Regulamentadora 31 (NR 31) que normatiza a segurança e saúde no trabalho, na agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura de maneira mais abrangente, específica e atualizada. A NR 31 faz parte do conjunto de 37 normas de saúde e segurança do trabalho a serem obrigatoriamente respeitadas por empresas privadas ou instituições públicas em acordo com a consolidação das leis trabalhistas.

Dentro das normas de segurança encontram-se especificações relacionadas a saúde e segurança do trabalhador rural, não apenas na NR 31 especificamente, mas existem especificações e atribuições gerais de outras normas que também devem ser respeitadas pelos empregadores do campo. A exemplo disso tem-se a NR 15, referente a atividades e operações insalubres, na qual residem os limites de exposição a riscos com os quais os trabalhadores se deparam no decorrer de suas atividades e na qual também encontra-se a vibração ocupacional. Tanto a NR 31 quanto a NR 15, dentre outras normas, serão abordadas mais detalhadamente posteriormente.

Os reflexos até agora descritos e os desdobramentos advindos da relação entre o homem e seu ambiente de trabalho são abarcados pelo estudo da ergonomia, antes restrita a interação entre homem e máquina, a ergonomia evoluiu desde seu surgimento com o objetivo cada vez mais interdisciplinar. O que Iida (2005), descreve sucintamente como adaptação do trabalho ao homem é atualmente fruto de um estudo multilateral que tem, dentre outros, os objetivos de assegurar a saúde do trabalhador, garantir a segurança no posto de trabalho, satisfazer o trabalhador em suas necessidades durante o exercer da função para ter como consequência a eficiência máxima no desempenho das atividades laborais (IIDA, 2005).

Este primeiro momento do trabalho tenciona mostrar o trajeto e o pano de fundo em que se origina a relação homem – máquina, como um processo inicialmente arcaico, fruto de um contexto histórico firmado em um momento de vulnerabilidade econômica e social e acompanhar o desenvolvimento da tecnologia, da atividade mecanizada no cenário brasileiro, da implementação e evolução das leis que contemplam os trabalhadores rurais, para que então adentre-se no objeto de estudo sob a tutela do entendimento de como o processo mecanizado

chegou, partindo de condições precárias, ao ponto de aprimorar e estudar as influências das mais diversas variações físicas, ambientais e pessoais que muitas vezes podem ser sutis, mas que refletem direta e indiretamente no trabalho rural.

## **2.1 Revolução verde: Um novo paradigma**

Pode-se compreender como Revolução Verde, o período de maior modernização da agricultura, onde se desenvolveram tecnologias e pacotes que colocaram o campo definitivamente no mapa da produção agrícola em escala industrial. O período, iniciado ainda antes do final da segunda guerra, possuía dentre suas premissas a erradicação da fome no mundo, entretanto, se tratava de uma mudança que iria muito além da modernização do campo, sinalizava a inserção de novas forças produtivas e a transformação dos modelos de produção com o nascimento do agronegócio (LAZZARI; SOUZA, 2017).

Antes mesmo do final da segunda guerra empresas privadas, como a Ford e a fundação Rockefeller, já viam no campo a possibilidade de obter lucro potencial na atividade agrícola, fato que se verifica com o alto investimento no melhoramento de sementes de variedade de alta produtividade (VAP) no México e nas Filipinas, regiões que sofriam com a escassez de abastecimento (HENRIQUES, 2009). Somando a isso ao fim da guerra as indústrias químicas, que aumentaram exponencialmente sua produção para o abastecimento da indústria bélica norte-americana, promoveram o incentivo do uso de fertilizantes químicos, inseticidas, herbicidas e fungicidas para eliminação de pragas (ANDRADES;GANIMI 2010).

É difícil precisar ao certo o início da Revolução Verde, pois ela é entendida como um processo que une fatores técnicos, econômicos, sociais e políticos, que se distribuíram de maneira espaçada cronologicamente. A herança dos motores a combustão presentes na segunda revolução industrial de 1870, foi aprimorada e especializada para adaptação de maquinário voltado para o campo na década de 40.

Segundo Mazoyer e Roudart (2010) a Revolução verde apoia-se não somente no processo de motorização, grande mecanização e quimificação, mas também na seleção de animais adaptados, a rentabilização e aos novos meios de produção industriais, como também no melhoramento vegetal desenvolvido em 1944 por Norman Borlaug e difundido na década de 60 com a descoberta de variedades de milho e trigo resistente, o que rendeu ao engenheiro agrônomo o prêmio Nobel da paz por contribuições para o fim da fome no mundo. O termo Revolução Verde só foi utilizado em 1968 por Willian Gaud, então presidente da agência dos

Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional, que utilizou o termo para descrever as transformações que se processavam (HENRIQUES, 2009).

Além da técnica, e do progresso científico, no intuito de acabar de vez com os estigmas da teoria Malthusiana<sup>2</sup>, a guerra fria forneceu o que faltava para a instituição do movimento considerado Revolução Verde e a formação do pacote tecnológico que foi difundido no mundo todo durante a modernidade, assumindo o que se entende por agricultura convencional.

No Brasil as transformações que tiveram início em 1960, também estiveram associadas a um conjunto de fatores que convergiam para o estabelecimento de um ambiente institucional favorável a adaptação e inovação tecnológica. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) foi criada nesse contexto em 1970 (VIEIRA-FILHO;GASQUES, 2016) e posteriormente ocorreu a instituição de políticas públicas que incentivaram a difusão do modelo convencional em território nacional.

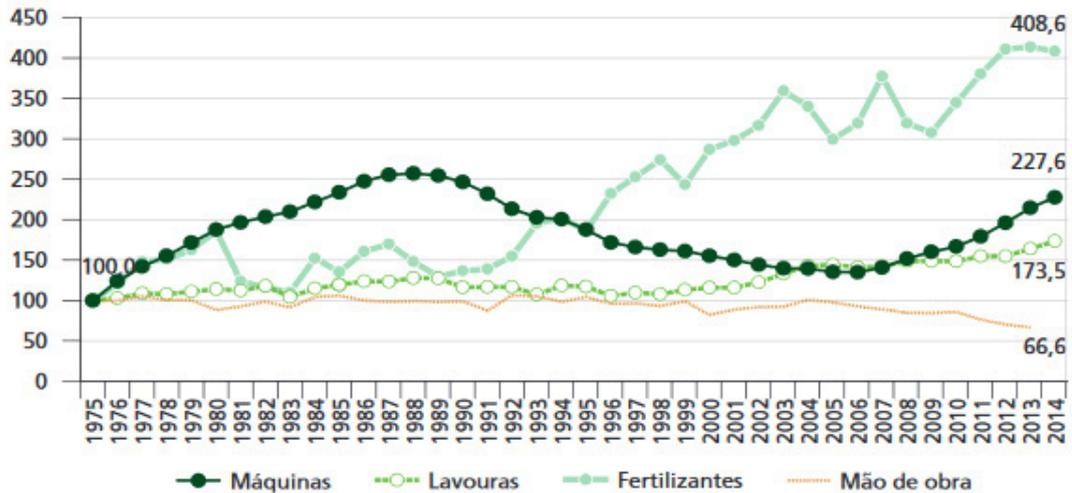
As observações de Vieira-Filho e Gasques (2016) identificam o crescimento da fronteira agrícola e da utilização de insumos em duas ondas distintas como se observa no gráfico<sup>3</sup> abaixo:

---

<sup>2</sup> A doutrina defendida pelo cientista inglês Thomas Malthus amplamente difundida que baseava-se no controle e restrição reprodutiva da humanidade para a manutenção da ordem econômica. Segundo Malthus a população cresce em projeção geométrica enquanto a produção de alimentos se dá em progressão aritmética de maneira que o esgotamento alimentar se daria de modo inevitável (NEVES, 2008).

<sup>3</sup> Para a construção do gráfico foi utilizado o indicador de produtividade PTF relacionando produto agregado e insumos utilizados. Resultado da agregação de lavouras temporárias(31 produtos), lavouras permanentes(24 produtos), produção animal(8 atividades) e pecuária (3 produtos). Os insumos correspondem a terra, mão de obra e capital, medidas a partir da associação com máquinas motrizes agrícolas, tratores, semeadeiras, retroescavadeiras, cultivadores, fertilizantes e defensivos. A base de dados foi obtida do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística(IBGE), Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores(Anfavea), Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para a Defesa Vegetal (Sindiveg), Potafos Nutrientes e pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) no período de 1975 a 2014. O índice de Tornqvist foi utilizado para a formação do índice de produto e do indicador de insumos.(VIEIRA-FILHO;GASQUES, 2016).

Gráfico 1- Porcentagem de utilização de insumos agrícolas no Brasil (1975-2014).



Fonte: (Vieira-Filho; Gasques 2016)

Se atentarmos para a curva descritiva da utilização de máquinas, podemos notar dois picos, sendo o primeiro situado na década de 80, referindo-se a tropicalização de cultivos ao bioma do cerrado e a segunda, ao desenvolvimento de sementes de ciclo produtivo mais curto, o que denota o importante papel da biotecnologia (VIEIRA-FILHO; GASQUES, 2016), e seu reflexo direto no aumento da mecanização. Tal importância pode evidenciar ainda mais a revolução verde como um processo contínuo que, mesmo após várias décadas, ainda está em evolução constante, fazendo da tecnologia genética um complemento que possibilitou sua expansão de maneira menos degradável para o ambiente. (CONWAY, 1998), bem como o aumento na utilização de máquinas, seja em ensaios de melhoramento, seja na implementação de espécies melhoradas.

Para a pesquisa que aqui se constrói é importante entender, como pode-se observar no gráfico acima, que o processo iniciado com a Revolução Verde, desenvolveu o terreno propício para o crescimento de operações com máquinas e, ao naturalizar essa prática e intensificar seu uso, abriu-se espaço para novos problemas e novas soluções a serem pensadas. Se a Revolução Verde se compreende por uma junção de eventos na formação dos pacotes tecnológicos, estes encontram-se intimamente interligados, seja na utilização de cultivares melhoradas, ou na utilização de adubos e defensivos em larga escala, ou ainda na expansão da fronteira agrícola, a utilização de maquinário encontra-se diretamente implicada. Tem-se o pano de fundo que possibilita os estudos de problemas advindos de operações mecanizadas e suas implicações no trabalhador rural e na atividade agrícola.

## 2.2 A evolução dos tratores agrícolas

Os tratores como conhecemos, são frutos de um processo tecnológico histórico de aprimoramento advindos da necessidade de mecanização agrícola, embora hoje sejam máquinas magníficas, extremamente especializadas e modernas, não era essa sua realidade antes da Revolução Verde. Surgiram como traquitanas mecânicas, uma espécie de ferramenta que funcionava na maioria das vezes associada a tração animal, ou mesmo esforço humano.

Entre os séculos XVI e XIX o sistema de produção sem alqueive tinha servido ao seu propósito, como toda revolução tecnológica, atingiu um novo patamar na história da agricultura, duplicando a produção e a produtividade e possibilitando o aumento da produção de alimentos e da população, bem como o desenvolvimento da indústria e da urbanização. Tal prática, no entanto, estava limitada pelo uso de ferramentas rudimentares e transportes, herdados da era medieval (MAZOYER; ROUDART, 2010).

Mas ainda na transição do século XVIII para o XIX, as mudanças proporcionadas pela descoberta da máquina a vapor e a evolução da indústria siderúrgica, que mais tarde caracterizariam, junto a outros eventos, a primeira revolução industrial, levou a produção de toda uma gama de máquinas, dentre elas, máquinas agrícolas, desde novos equipamentos tracionados, como arados, grades e semeadoras, até pequenas máquinas, como limpadores de sementes e picadores de palha (MAZOYER; ROUDART, 2010):

Figura 1- Exemplos de máquinas desenvolvidas para a agricultura no século XVIII.



Fonte: Mazoyer e Roudart (2010).

Embora possamos enxergar na figura acima alguns traços do que mais tarde se tornariam os tratores e implementos, ainda demoraria muito tempo até a construção do primeiro trator, somente em 1892 em Dakota do Sul nos Estados Unidos, Froelich construiria o primeiro protótipo a gasolina que seria, mais tarde, comprado por John Deere e servido de base para a produção de tratores modernos (VIAN et al. 2013).

Daí por diante, o período entre guerras proporcionou enorme desenvolvimento e investimento na indústria de máquinas, o Fordson, modelo da Ford lançado em 1917, tornou-se o padrão a ser seguido para o desenvolvimento de tratores em escala industrial. (FONSECA, 1990), nos anos seguintes o padrão passou a ser do Farmhall da International Harvester, adaptando o trator para uma série de atividades agrícolas, os pneus de ferro foram substituídos por pneus de borracha. Por fim, a Massey Ferguson inovou lançando um modelo que valorizava o conjunto trator- implemento, facilitando o sistema de engate e a distribuição de peso.

Figura 2- Evolução cronológica dos tratores.



Fonte: Vian et. al. (2013).

A partir da década de 50 os tratores passaram a convergir para uma padronização industrial cada vez mais precisa e moderna, em 1980 as vendas de tratores chegaram a somar US\$ 22 bilhões e marcaria o estabelecimento definitivo de gigantes como New Holland, Case, Kubota-Tekko, dentre outras (VIAN et al. 2017). As tabelas a seguir mostram a difusão e o aumento do número de tratores no Brasil e no Mundo:

Tabela 1- Número de tratores por regiões brasileiras 1970-1980.

Regiões	1970		1975		1980	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Norte	1.035	0.6	1.733	0.5	5.821	1.1
Nordeste	6.177	3.9	15.074	0.7	33.590	6.3
Sudeste	79.852	50.8	131.881	40.8	198.809	37.5
Sul	60.684	38.6	145.393	45	230.334	43.4
Centro-Oeste	9.598	6.1	29.032	9	62.133	11.7
Brasil	157.346	100	323.113	100	530.691	100

Fonte: IBGE.

Tabela 2- Demanda percentual de tratores por regiões do mundo.

Região/Ano	2001	2005	2007
Ásia/Pacífico	31%	34%	37%
Europa Ocidental	31%	24%	27%
America do Norte	26%	30%	22%
Demais Regiões	12%	12%	14%

Fonte: Sartti, Sabbatini e Vian (2009)

A modernidade traz para o futuro dos tratores o desafio da agricultura de precisão, cada vez mais vital para o aproveitamento dos cultivos e mais segurança na execução.

### 2.2.1 Mecanização agrícola no Brasil

No Brasil, a modernização agrícola ocorreu na década de 60, o país de grande potencial agroexportador aderiu o processo de mecanização em virtude da transição de um regime exploratório meramente extrativista para uma economia de base industrial após a crise do café em 1929, até o momento o país até possuía inserção na lógica do comércio exterior, mas não havia articulação e pouca influência do estado. Com a quebra da bolsa de Nova York e os estragos provocados na economia brasileira, houve um redirecionamento econômico para o processo de industrialização e uma diversificação no processo produtivo, com destaque para o cultivo de algodão em São Paulo, a pecuária no triângulo mineiro, o açúcar no nordeste, da borracha na região amazônica e do arroz e do trigo na região sul (PRIORI. et al. 2012).

Concomitantemente ao momento de industrialização, o estado passa agir como regulador na economia, a orientação do campo aparece na mesma direção de todos os outros setores do país, no intuito de suprir a demanda de um sistema urbano-industrial. Neto (1985), relata alguns fatores descritos por José Serra, como alavancantes do processo de industrialização no cenário brasileiro, sendo eles: uma ampla base de mercado doméstico, políticas protecionistas, que substituíram o consumo de produtos de importação, investimentos estatais massivos no setor de indústria base de fornecimento e na infraestrutura de modo geral, somado a entrada de capital estrangeiro para a produção de manufaturas para o mercado interno, além de fortes subsídios para a indústria e crescimento da oferta agrícola redesenharam o cenário agrícola brasileiro com a implantação do plano de metas.

Outro fator decorrente de todo esse processo é que a internalização e substituição de importações impulsionou a criação da indústria de tratores no Brasil, o que tornou o acesso mais fácil aos produtores (SOBRAL, 2008). Na década de 70 o crescimento da indústria e do

mercado de exportação continuou seu crescimento, havendo um salto na aquisição de máquinas. Na década seguinte, a Indústria de Máquinas e Implementos Agrícolas (IMA) deu início a um período caracterizado por aquisições e fusões de empresas nacionais por multinacionais. A década de 90 foi de reestruturação da indústria brasileira a fim de competir com a concorrência internacional (SOBRAL, 2008).

No início dos anos 2000, a criação do programa de Modernização da Frota de Tratores e Implementos Associados e Colheitadeiras (MODERFROTA) é relatada por Sobral (2008), com base em dados obtidos da ANFAVEA, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, como medida responsável pelo aumento intenso da aquisição de máquinas, pois visava o financiamento de tratores e implementos por meio de agências financeiras, facilitando o acesso dos produtores. Pode-se observar o aumento progressivo na tabela abaixo:

Tabela 3- Produção e venda, em unidades, de tratores agrícolas 2000-2002.

	2000(a)	2001(b)	2002©	b/a em%	c/b em%
Produção	27546	34.781	40.352	26,3	16
Vendas mercado interno	24591	28.203	33.218	14,7	17,8
Exportação	3455	5.814	7.923	68,3	36,3
Total de vendas	28046	34.017	41.141	21,3	20,9

Fonte: ANFAVEA, anuário estatístico (2009).

Mediante todo o histórico podemos nos questionar, como esse processo de mecanização afeta as relações de trabalho no âmbito agrícola? E a resposta embora seja inicialmente simples envolve vários desdobramentos. Quanto mais tratores, menos trabalhadores são necessários para executar uma função. Se do ponto de vista agrário o cenário rural sofreu profundas transformações que geraram desemprego, exôdo rural e a criação de movimentos sociais compostos por trabalhadores que perderam seus empregos pela mecanização, do lado agrícola significa a intensificação, ou aumento do tempo de operação por um único funcionário.

Se verificarmos o trabalho de Scopinho (1999), em que são estudadas as implicações do processo de mecanização do corte da cana de açúcar, constata-se que, se por um lado o processo traz inúmeras vantagens econômicas e ambientais, por outro há que se investigar até que ponto a tecnificação do processo pode afetar os operadores de máquinas, de fato, o seu uso pode eliminar os gastos com mão de obra, mas não garante por si só a melhora das condições de trabalho, uma vez que o desgaste da frente de trabalho pode não estar sendo

sanado, mas apenas substituído. O estudo denota que se há a diminuição de riscos físicos químicos e biológicos, as máquinas inserem novas relações e influências que se refletem no âmbito psíquico e fisiológico, advindos da intensificação do ritmo de trabalho.

Uma vez que as bases do processo produtivo foram amplamente modificadas com a mecanização do campo, as relações de trabalho também passaram por transformações profundas que merecem o olhar rigoroso do método científico. No caso da mecanização do corte da cana devem ser levados em conta o conjunto de cargas laborais que atua sobre o operador, que envolve cargas físicas: mudanças de temperatura e umidade, ruído e vibração, iluminação; cargas químicas: poeiras fuligens neblinas e névoas; cargas biológica: contaminação bacteriológica por ingestão de água e alimentos contaminados; cargas mecânicas: acidentes em geral durante o trajeto e manuseio; cargas fisiológicas; posturas incorretas e movimentos repetitivos; cargas psíquicas: concentração, atenção constante, supervisão com pressão, ritmos intensos, ausências de pausas regulares dentre outros (LAURELL; NORIEGA, 1989 *apud* SCOPINHO et al., 1999)

Portanto, a resposta ao questionamento de como o processo de mecanização agrícola afeta o trabalhador não pode se resumir a diminuição do esforço físico, mas seguir um critério detalhado de avaliação para o desempenho da atividade específica e todas as suas variáveis, a que foi escolhida para nortear este trabalho foi a vibração ocupacional na utilização de tratores a qual trataremos mais adiante.

### **2.3 Segurança no trabalho rural**

Como relatado por Laurel e Noriega (1989) e enfatizado por Scopinho (1999), a mecanização mudou não somente a execução de atividades desempenhadas, mas as cargas laborais as quais os operadores eram expostos diariamente no decorrer da jornada de trabalho. Esse processo não se restringiu apenas ao âmbito rural, mas a toda e qualquer atividade mecanizada. A forma de executar um trabalho mudou os riscos e perigos aos quais os trabalhadores eram expostos e por conseguinte, trouxeram consigo novas consequências ao trabalhador moderno.

A possibilidade de que o ambiente de trabalho ou o desempenho de uma função pode ser relacionado como causador de doenças, foi primeiramente retratado pelo médico italiano Bernardino Ramazzini. Em 1700 ele publicou no livro “*De Morbis Artificum*

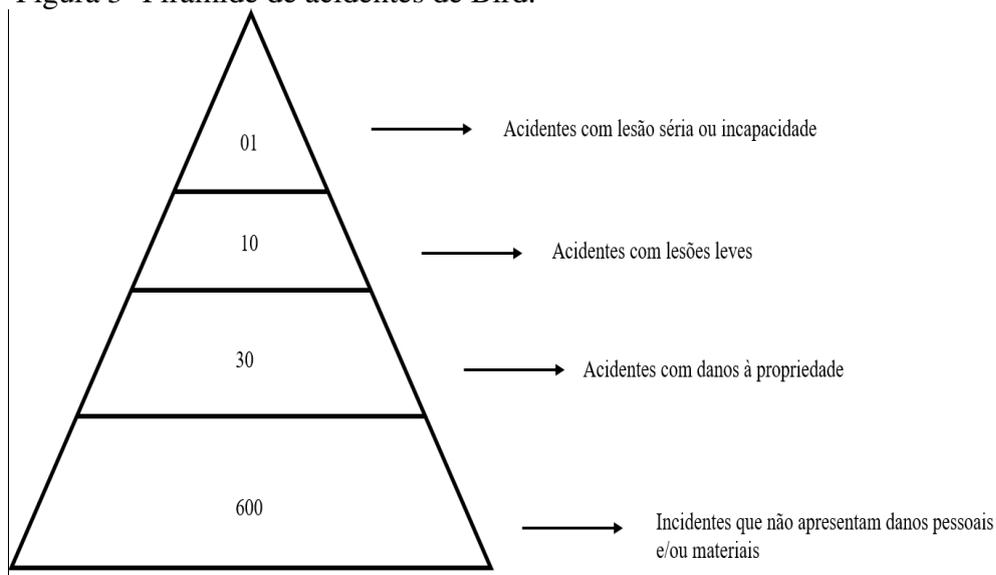
*Diatriba*”<sup>4</sup>, uma lista de 50 profissões com doenças relacionadas a cada uma, sendo reconhecido a posteriori como “pai da medicina do trabalho”.

O conceito de segurança do trabalho foi uma necessidade que consolidou-se após a segunda revolução industrial. A produção era prioridade tendo em vista o crescimento e controle do mercado econômico mundial. A modificação da dinâmica de trabalho trouxe a tona o problema da repetitividade em operações mecanizadas, o que fez com que o número de acidentes aumentasse alarmantemente. (BITENCOURT; QUELHAS, 1998).

Bittencourt e Quelhas (1998), também relatam outros fatores que aumentaram assustadoramente o número de acidentes e que convergiram para o processo de criação de normas e leis que priorizassem a segurança do trabalhador. Com a revolução industrial e a produção priorizada acima de tudo, não haviam critérios de seleção de mão de obra, nem limites de horas de trabalho, as máquinas eram projetadas visando o fim e não o meio. Ainda de acordo com esse estudo, somente em 1833, em detrimento da enormidade de acidentes e de condições desumanas de trabalho, foi criado, na Inglaterra o “*Factory Act*” a primeira legislação de proteção ao trabalhador.

Um estudo do norte americano Frank Bird, conduzido entre 1967 e 1968 concluiu que para que aconteça um acidente com potencial incapacitante ao trabalhador ocorrem em média 600 incidentes sem danos materiais e pessoais e construiu a partir disso a pirâmide abaixo:

Figura 3- Pirâmide de acidentes de Bird.



Fonte: Bitencourt e Quelhas (1998)

<sup>4</sup> Traduzido para o português com o título: “As doenças dos trabalhadores”

No Brasil as leis trabalhistas de 1934 já eram bastante amplas e em conformidade com os preceitos da Organização Internacional do Trabalho (OIT), no que tange a segurança do trabalhador. A portaria nº 3.237 de 1972 estabelece a obrigatoriedade de serviços médicos, de higiene e segurança em todas as empresas com contingente superior a 100 trabalhadores.

A portaria de nº 3.214 de 8 de junho de 1978, aprova a implementação das Normas Regulamentadoras de segurança e medicina do trabalho, tornando obrigatório seu cumprimento. Estas atualmente somam 37 dentre as quais a NR 31 intitulada Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária, exploração florestal e aquicultura, estabelece diversos parâmetros de trabalho seguro dentro do amplo espectro da atividade rural.

Mesmo com todas essas medidas a segurança permanece sendo um problema vigente no Brasil e um processo em construção. Bitencourt e Quelhas (1998), constatavam há mais de 20 anos que, naquela altura, os acidentes do trabalho vitimaram cerca de 25 milhões de trabalhadores em um intervalo de 2 décadas, deixando cerca de um milhão de trabalhadores com sequelas permanentes e 86 mil mortos.

Menezes et. al (2018) descreve as atividades agrícolas como as mais perigosas que existem para o trabalhador. Arelados ao trabalho rural encontram-se exposição a ruídos, vibração e demais agentes, a influência do manuseio de produtos químicos provoca alterações no ambiente e no organismo humano, aumentando a incidência de intoxicações ocupacionais (KORBES *et. al.*, 2010). Devido a amplitude e diversificação da atividade agrícola, podem-se verificar os mais variados tipos de perigos. Defensivos agrícolas que causam intoxicação e doenças crônicas, segurança no transporte e armazenagem, incluindo produtos perigosos, riscos de explosões na manipulação de grãos, acidentes com equipamentos manuais e mecanizados, fadigas físicas e psíquicas, animais peçonhentos, operações em espaço confinado e trabalho em altura, são apenas alguns riscos e perigos aos quais a atividade agrícola pode expor os trabalhadores (RADOLL, 2009).

A segurança do trabalho tornou-se necessária não apenas por conscientização dos empregadores, mas principalmente por onerar o processo produtivo, tanto de forma direta, como indireta, Pastore<sup>5</sup> (2010) afirmou que estima-se o gasto com acidentes e doenças do trabalho encontra-se por volta de 71 bilhões de reais, representando 9% do total de salários pagos pela sociedade brasileira.

---

5

[https://www.josepastore.com.br/artigos/rt/rt\\_320.htm#:~:text=Conclus%C3%A3o%3A%20sociedade%20brasileira%20paga,um%20esfor%C3%A7o%20adicional%20de%20preven%C3%A7%C3%A3o.](https://www.josepastore.com.br/artigos/rt/rt_320.htm#:~:text=Conclus%C3%A3o%3A%20sociedade%20brasileira%20paga,um%20esfor%C3%A7o%20adicional%20de%20preven%C3%A7%C3%A3o.)

Os danos por tanto não ocorrem somente nos acidentes, mas se alastram através de doenças ocupacionais.

### ***2.3.1 Doenças ocupacionais***

As atividades laborais e doenças ocupacionais encontraram novas formas de acometimento do trabalhador com a modernização do campo. As relações criadas inicialmente por Ramazzini aplicavam-se no âmbito de atividades relativamente básicas, como o artesanato e a manufatura (BITENCOURT; QUELHAS, 1998) a incorporação tecnológica ampliou esse leque de possibilidades.

A realidade do campo nos dias atuais passa por um processo cada vez maior de terceirização de serviços e perda de direitos trabalhistas. A implementação de trabalhos temporários provoca o crescimento de subempregos e autônomos e intensifica os processos produtivos, gerando maior exposição a fatores de risco. Progressivamente o acúmulo de funções e o caráter rotativo de mão de obra temporária, submete os trabalhadores ao rebaixamento de níveis salariais e por conseguinte, ao descumprimento de regulamentos de proteção a saúde e a segurança do trabalhador. Os perfis de adoecimento do trabalhador se multiplicaram com a reestruturação produtiva do setor agrícola e ainda não possuem consequências totalmente conhecidas. (BRASIL, 2001)

Pode-se perceber, como nos enfatiza Moreira (2015), que a saúde dos trabalhadores não é um processo isolado, mas multilateral condicionado por fatores econômicos, políticos e organizacionais que variam entre regiões e atividades desempenhadas e conferem perfis específicos de condições de produção e consumo, isso sem mencionar os riscos já conhecidos e classificados na literatura.

No meio rural essas condições se ramificam ainda mais, uma vez que os trabalhadores se inserem nos mais variados processos de trabalho que vão desde extrativismo florestal e agricultura familiar até a agroindústria (BRASIL, 2001)

Os perfis de adoecimento do trabalhador e sua relação com o trabalho dividem-se em 4 grupos(MENDES; DIAS, 1999):

- doenças comuns, aparentemente sem qualquer relação com o trabalho;
- doenças comuns (crônico-degenerativas, infecciosas, neoplásicas, traumáticas, etc.) eventualmente modificadas no aumento da frequência de sua ocorrência ou na precocidade de seu surgimento em trabalhadores, sob determinadas condições de trabalho. A hipertensão arterial em motoristas de ônibus urbanos, nas grandes cidades, exemplifica esta

possibilidade;

- doenças comuns que têm o espectro de sua etiologia ampliado ou tornado mais complexo pelo trabalho. A asma brônquica, a dermatite de contato alérgica, a perda auditiva induzida pelo ruído (ocupacional), doenças músculo-esqueléticas e alguns transtornos mentais exemplificam esta possibilidade, na qual, em decorrência do trabalho, somam-se (efeito aditivo) ou multiplicam-se (efeito sinérgico) as condições provocadoras ou desencadeadoras destes quadros nosológicos;

- agravos à saúde específicos, tipificados pelos acidentes do trabalho e pelas doenças profissionais. Asilicose e a asbestose exemplificam este grupo de agravos específicos.

Os três últimos grupos podem ser classificados dentro do espectro de doenças ocupacionais.

O Ministério da Saúde adota a classificação de Schilling (1984), para estabelecer a relação da doença com o trabalhador, subdividida em 3 grupos distintos:

Grupo 1- Doenças em que o trabalho é causa necessária, ocorrem portanto intoxicações agudas de origem estritamente ocupacional.

Grupo 2- Doenças em que o trabalho pode contribuir para o agravamento, podendo ser um fator de risco, porém não necessariamente.

Grupo 3- Doenças em que o trabalho provoca um distúrbio ou o agravamento de condição préexistente.

O quadro abaixo exemplifica os grupos supracitados (SCHILLING, 1984 *apud* BRASIL, 2001):

Quadro 1- Classificação de doenças de Schilling.

<b>Categoria</b>	<b>Exemplos</b>
I- Trabalho como causa necessária	Intoxicação por chumbo, silicose, doenças profissionais legalmente reconhecidas.
II- Trabalho como fator contributivo, mas não necessário	Doença coronariana, doenças do aparelho locomotor, câncer, varizes nos membros inferiores.
III- Trabalho como provocador de um distúrbio latente, ou agravador de doença já estabelecida	Bronquite crônica, dermatite de contato alérgica, asma, doenças mentais.

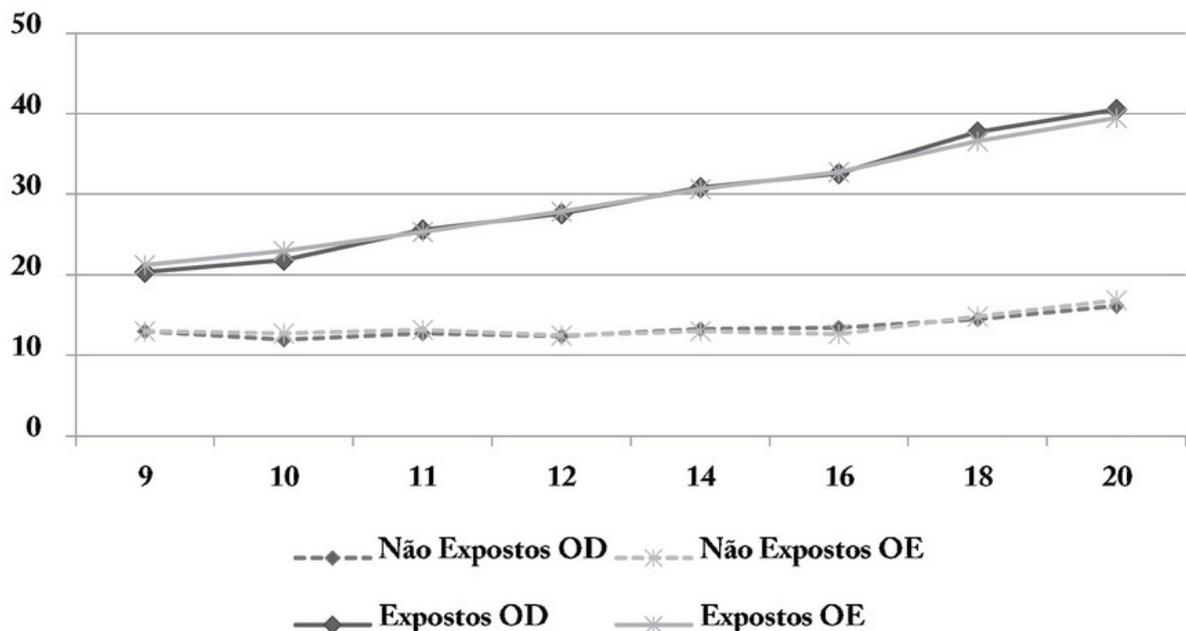
Fonte: Brasil (2001) adaptado de Schilling (1984).

Acima podemos notar apenas alguns exemplos de situações em que onexo causal entre a doença e o trabalho é classificado de forma direta, porém são inúmeras as possibilidades.

Pensando nisso, o Ministério da Saúde elaborou uma lista de doenças extensa e abrangente que envolve, doenças infecciosas e parasitárias, doenças do sangue, endócrinas, nutricionais e metabólicas, transtornos mentais e doenças do sistema nervoso, distúrbios auditivos, doenças do sistema circulatório e respiratório, doenças de pele, do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo, dentre outras. Todas relacionadas ao trabalho.

O estudo de Sena *et. al.* (2019), por exemplo, é um entre muitos que estuda os impactos do uso de defensivos químicos na saúde dos trabalhadores, a pesquisa mostra a influência do uso de defensivos na audição de trabalhadores expostos a pesticidas em comparação a outros trabalhadores da mesma propriedade que não tem contato com a substância, o resultado demonstrou que no teste de Emissões Otoacústicas Evocadas por Produto de Distorção (EOAPD) os trabalhadores expostos falharam mais em ambas as orelhas que os sem exposição, além disso as piores médias limiares de audibilidade e as curvas audiométricas também apresentaram os piores resultados como consta no gráfico abaixo:

Gráfico 2- Respostas audiométricas a altas frequências por grupo de exposição.



Fonte: Sena et al., 2019.

Não obstante, outros tipos de doenças oriundas de riscos físicos, mecânicos e ergonômicos também ocupam lugar de atenção no âmbito das doenças ocupacionais. O estudo de Moreira *et. al.* (2015) com um grupo de 24.018 trabalhadores comprova que há prevalência de morbidades relacionadas a doenças na coluna ou nas costas, hipertensão e artrite ou

reumatismo, facilmente associáveis a exposição a riscos físicos e ergonômicos, conforme verifica-se na tabela:

Tabela 4. Prevalência de morbidades em trabalhadores.

Morbidade referida	Ocupação Agrícola		Total (%) (n=24.018)
	Sim (%)	Não (%)	
Doença de coluna ou das costas	21,1	15,8	20,9
Artrite ou reumatismo	7,7	4,5	7,6
Câncer	0,6	0,3	0,5
Diabetes	2,8	3,9	2,9
Bronquite ou asma	2,9	2,4	2,9
Hipertensão arterial	17,3	13,4	17,2
Doença do coração	4	2,7	4
Insuficiência renal crônica	2	1,9	2
Depressão	3,5	2,5	3,6
Tendinite ou tenossinovite	1,7	2,3	1,5
Cirrose	0,3	0,2	0,3

Fonte: Moreira et al. 2015

Como vemos acima as doenças relacionadas ao sistema osteomuscular ocupam o primeiro lugar isolado na pesquisa, doenças essas que fazem parte das consequências que esse estudo busca elucidar, no caso, ao que se origina da exposição e influência da vibração ocupacional e os fatores que corroboram para seu aumento na operação do trator.

### 2.3.2 Normas regulamentadoras

Diante deste quadro diverso de enfermidades e adoecimento do trabalhador, as normas regulamentadoras aparecem para prevenir, inibir e remediar os agentes de risco a que estes são expostos.

Como já destacado anteriormente, a portaria de nº 3.214, responsável pela obrigatoriedade e implementação das normas de saúde e segurança do trabalho data de 8 de junho de 1978, surge no intuito da elaboração de normas específicas e abrangentes nos mais diversos tipos de atividades. Mais de 40 anos após tornadas obrigatórias as normas ainda são, por muitas vezes, descumpridas, seja em instituições públicas, ou privadas e além disso, muitas vezes desconhecidas por funcionários e mesmo profissionais das ciências agrárias.

Verifica-se nos estudos de Seifert e Santiago (2009), como no de Menezes *et. al.* (2018), que mesmo com a diferença de quase uma década entre as duas pesquisas, os resultados

de ambos, demonstram que os profissionais de ciências agrárias, bem como os produtores e trabalhadores entrevistados, encontram-se majoritariamente desinformados acerca das medidas de segurança.

As normas regulamentadoras de segurança foram criadas pelo Ministério do Trabalho, para assegurar, prevenir e/ou diminuir os riscos de acidentes e surgimento de doenças entre os trabalhadores em ambientes laborais, não apenas rurais, mas em geral. O guia composto atualmente por 37 normas, descrevem os parâmetros legais e permissíveis para a execução das mais variadas atividades. Atualmente se tem acesso ao texto integral e atualizado das normas nos domínios públicos da Secretaria de Inspeção do Trabalho (SIT) e da Escola Nacional de Inspeção do Trabalho (ENIT), ambos órgãos constituintes da pasta do ministério da economia. As atualizações são constantes e cada vez mais abrangentes, adaptando-se às condições de trabalho, que evoluem cada vez mais rápido e diversificam as relações no ambiente, na medida em que há incorporação de novas tecnologias.

Para os efeitos da presente pesquisa, ressaltaremos a importância da NR 31, Segurança e Saúde no Trabalho, na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura, que rege as operações pertinentes aos profissionais das ciências agrárias, a NR 09 Programa de Prevenção de Riscos Ambientais e, posteriormente, a NR 15 Atividades e Operações Insalubres.

#### NR 31

Durante a consolidação das leis de trabalho em 1943, o trabalhador rural se viu fora da aplicação dos preceitos ora estabelecidos. O Brasil era um país essencialmente agrário. Somente trinta anos depois com a lei nº 5.889, de 08 de junho de 1973 chegou-se ao que, atualmente, regula as relações de trabalho rural.

Em 1988 foram criadas as Normas Regulamentadoras Rurais (NRR), estabelecidas pela portaria nº 3.067, de 12 de abril de 1988. Eram cinco normas relativas a segurança e saúde no trabalho sendo elas: Disposições gerais (NRR 1); Serviço Especializado em Prevenção de Acidentes do Trabalho Rural – SEPATR (NRR 2); Comissão Interna de Prevenção de Acidentes do Trabalho Rural – CIPATR (NRR 3); Equipamentos de Proteção Individual – EPI (NRR 4) e Produtos Químicos (NRR 5). Entretanto, devido a amplitude e variação do setor rural, essas normas não eram suficientes para assegurar os trabalhadores (SIT, 2020).

Após anos de reivindicações de movimentos rurais, por implementações e revisões na legislação, segundo consta no portal da Secretaria de Inspeção do trabalho, a nova norma foi publicada pela portaria MTE nº86 de 03 de março de 2005, intitulada de NR 31 – Segurança e

Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura.

A NR 31 é uma das mais extensas e preconiza sobre diversas atividades. Nela encontramos vários itens que corroboram com a pesquisa ora proposta. Dentre eles podem-se citar:

31.7.20.1 Em que o empregador rural ou equivalente deverá promover capacitação em segurança e saúde no trabalho para os membros da CIPATR antes da posse, de acordo com o conteúdo mínimo de várias competências, dentre elas, destacam-se<sup>6</sup> os itens: b) estudo das condições de trabalho com análise dos riscos inerentes ao processo produtivo no campo, bem como medidas de controle ; c) caracterização e estudo de acidentes ou doenças do trabalho, metodologia de investigação e análise; h) princípios gerais de higiene no trabalho; j) proteção de máquinas equipamentos; k) noções de ergonomia.

31.10.1 O empregador rural, ou responsável deve aderir princípios ergonômicos que tenham como meta a adequação das condições de trabalho às características físicas e psicológicas dos trabalhadores, de maneira a possibilitar melhorias nas condições de conforto e segurança no trabalho.

31.10.5 Todas as máquinas, equipamentos, implementos, mobiliários e ferramentas devem conferir ao trabalhador condições posturais corretas, visualização, movimentação e operação (BRASIL, NR31).

## NR9

A Norma regulamentadora número nove, intitulada de Programa de prevenção de riscos ambientais, popularmente conhecida pela sigla PPRA foi editada pela primeira vez pela portaria nº3.214 de 8 de junho de 1978, inicialmente chamava-se apenas de “Riscos Ambientais” esta norma estabelecia, em linhas gerais, a obrigação por parte dos empregadores em avaliar os riscos presentes durante o exercício da atividade remunerada, incluindo agentes físicos, químicos e biológicos, dentre outros riscos que não são considerados insalubres, ou perigosos com o intuito de promover a eliminação, neutralização, ou diminuição dos riscos a serem ocasionados no ambiente. Foi modificada 11 vezes até tomar o formato atual, passando por 3 grandes revisões e 8 alterações pontuais das quais podem-se citar, a implementação de anexos, sendo o primeiro da esfera do presente estudo, referente a doenças e distúrbios decorrentes da exposição a Vibrações de Mãos e Braços (VMB) e Vibrações de Corpo Inteiro

---

<sup>6</sup> Verificam-se também orientações importantes e relacionadas ao tema nos itens: 31.10.6; 31.10.7; 31.10.8; 31.10.9; 31.12 especificamente nos sub itens .11; .14 “e” e .74.

(VCI). Este último sendo desenvolvido em conjunto com o anexo 8 da NR 15, ambos a serem trabalhados de maneira mais aprofundada a posteriori.

A NR9 trata em sua maior parte sobre a formulação e planejamento, focando no desenvolvimento de ações de reconhecimento, elaboração e execução das medidas necessárias à mitigação dos riscos presentes no ambiente de trabalho, neste itinerário, fica claro que as necessidades e avaliações são feitas de maneira personalizada, de acordo com o ambiente específico (BRASIL, NR 9).

A norma deixa claro os tipos de agentes aos quais os trabalhadores são expostos, bem como a natureza dos mesmos, dentre estes, pode-se notar a vibração como agente físico. O quadro abaixo, exemplifica de maneira didática os grupos descritos e seus agentes:

Quadro 2- Classificação de riscos ambientais por agentes diversos.

GRUPO	EXEMPLO
Físicos	Ruído, Vibração, Radiação ionizante e não ionizante, temperaturas extremas (frio e calor) pressão atmosférica anormal, etc.
Químicos	Agentes e substâncias químicas, sob as formas líquida, gasosa, ou de partículas, poeiras minerais e vegetais, comuns no processo de trabalho
Biológicos	Vírus, bactérias, parasitas geralmente associados ao trabalho em hospitais, laboratórios, na agricultura e pecuária.
Ergonômicos e psicossociais	Decorrem da gestão e organização do trabalho, como por exemplo, da utilização de equipamentos, máquinas e mobiliários inadequados, levando a postura e posições incorretas, locais adaptados com más condições de iluminação, ventilação, entre outros.
Mecânicos e acidentais	Ligados à proteção das máquinas, arranjo físico, ordem e limpeza do ambiente de trabalho, sinalização, rotulagem de produtos e outros que podem levar a acidentes de trabalho.

Fonte: Amorim, 2014.

## 2.4 Ergonomia

Como descrita por Iida e Guimarães 2016, a ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem, como tal, leva em conta todas as interações presentes em um ambiente específico e os impactos destas no conforto, na produtividade e na saúde do trabalhador. A vibração ocupacional encontra-se portanto inserida dentro do espectro do estudo ergonômico.

A atividade rural está em constante contato com diversos agentes que podem se tornar nocivos a saúde do trabalhador, caso não sejam ajustadas a jornada e aos equipamentos de trabalho.

Nas atividades envolvendo máquinas, o contato com a vibração ocorre de maneira constante e de forma quase inevitável. A relação entre atividade mecanizada e vibração no meio rural está intrinsecamente ligada as particularidades da própria atividade, como pode-se notar nos estudos de Moraes *et. al.*, (2006) e Schutzer, Santos e Júnior, (2016). Isto se deve ao fato de a maioria dos motores de acionamento apresentarem problemas de vibração por desbalanceamento, sendo o componente humano, parte desse sistema homem-máquina de maneira integral e portando sendo afetado por ele (RAO, 2008)

As vibrações são realidade presente nas tarefas do cotidiano. Nos encontramos expostos a essas ondas mecânicas, quando pegamos um transporte ou mesmo utilizamos ferramentas manuais, ou eletrodomésticos, no entanto nem todos os tipos de vibrações são prejudiciais, as de baixa frequência são consideradas danosas ao corpo e à saúde. (IIDA, 2016). Cabe portanto, por meio do estudo ergonômico, eliminar e isolar esse tipo de agente, protegendo o trabalhador e concedendo intervalos adequados para execução de tarefas onde há exposição.

Dentre as profissões exercidas no meio rural, a operação de máquinas agrícolas, especificamente de tratores, que conta com jornadas exercidas em sua grande maioria na posição sentada, é uma das que mais ocasionam desconforto corporal, pois exige inclinações, rotações constantes, que condicionam a contração constante de determinados grupos musculares além disso, a constante exposição a vibrações e movimentos repetitivos coloca este tipo de função como objeto de estudo da ciência ergonômica (MORAES *et. al.*, 2006).

Diante disso, voltaremos nossa atenção ao cerne da pesquisa que aqui se fundamenta, para entender que fatores influenciam na exposição a vibrações na operação de tratores agrícolas.

Para tanto observaremos na próxima parte deste trabalho o que é, de fato, a vibração, como ela pode afetar o corpo do trabalhador e como solucionar os problemas causados pela mesma, assim como os fatores de operação que influenciam no aumento ou diminuição da vibração.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa bibliográfica sendo compreendida como coleta de material já elaborado, constituindo-se principalmente de livros e artigos científicos foi conduzida de uma perspectiva racional e sistemática com o objetivo de proporcionar respostas de influência aos fatores ora analisados. O presente estudo foi desenvolvido sob a perspectiva reflexivo-descritiva, por meio do exame de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos, bem como dados empíricos e teóricos, todos estes presentes em livros, revistas, periódicos e artigos científicos relacionados à temática, de autores nacionais e internacionais, da legislação (como diretivas e regulamentação), dissertações, teses e demais recursos disponíveis na internet.

Para a constituição do escopo da revisão, especificamente, dos fatores que influenciam na vibração do trator agrícola, foi aplicado filtro para artigos relacionados com a presença da análise dos cinco fatores a serem trabalhados no estudo, sendo eles: velocidade de deslocamento, superfície de rolamento, tipos de pneus, uso de implementos e pressão interna de ar nos pneus. Foram utilizados 15 artigos, 3 para cada fator estudado, sendo destes: 4 encontrados na plataforma Research Gate, 4 artigos encontrados na plataforma Science Direct, 3 encontrados na plataforma Scielo e os 4 restantes foram encontrados individualmente no Repositório da Universidade Federal do Ceará, Repositório croata Hrcak Portal, Periódicos da Universidade Federal de Viçosa e Brazilian Journals respectivamente.

## 4 VIBRAÇÃO OCUPACIONAL

A física moderna descreve uma onda, como uma perturbação que ocorre em um meio específico, em que há a transmissão, ou deslocamento de energia. A ondulatória descreve a natureza das ondas como sendo de 3 tipos distintos, sendo elas: ondas eletromagnéticas, das quais fazem parte a luz, as microondas, ondas de rádio, televisões e radares.; ondas de matéria, que estão associadas a íons, prótons e partículas elementares, como átomos e moléculas e ondas mecânicas, estas últimas, são as mais conhecidas, pois atuam através de meios materiais, como ar, água ou terra, neste tipo, estão inclusas ondas sonoras, marítimas e a vibração (HALLIDAY, RESNICK, 2007).

As definições de vibração variam desde as mais elaboradas, até versões mais sucintas. Iida (2016), define vibração como um movimento qualquer, feito por um corpo, realizado em torno de um ponto fixo, podendo ser um movimento regular, que obedece um certo padrão, ou senoidal, irregular e indeterminado.

Na definição de Rao (2008), a vibração é descrita como um movimento que se repete em um determinado intervalo de tempo.

Para Saliba (2014), a vibração é o movimento oscilatório realizado por um corpo, resultante de forças desequilibradas de componentes rotativos e movimentos alternados de uma máquina, ou equipamento, razão pela qual o corpo vibra e descreve um movimento oscilatório e periódico envolvendo, portanto, um deslocamento em um tempo determinado.

Esses fenômenos físicos oscilatórios, quando relatados no ambiente de trabalho, de modo que afetam a atividade laboral e atuam sobre o corpo do operador de forma direta, ou indireta, são caracterizados como vibração ocupacional.

De modo a tornar clara a classificação de vibração ocupacional presente nas legislações vigentes, esta divide-se em dois tipos:

Vibração de Corpo Inteiro – São aquelas transmitidas ao corpo todo por meio de uma superfície de suporte, tais como pés, costas, nádegas de um homem sentado ou reclinado como acontece com motoristas de ônibus e caminhões, operadores de tratores, empilhadeiras e demais maquinários de transporte. Estes trabalhadores recebem vibrações no corpo inteiro transmitida pelo assento dos equipamentos (SALIBA, 2014).

Vibração de Mãos e Braços – São as vibrações que atingem principalmente os membros superiores, como no caso de operadores de martelões de pressão, britadeiras, motosserras, lixadeiras etc. (SALIBA, 2014).

O fenômeno vibratório caracteriza-se em três variáveis: frequência em hertz (Hz), aceleração máxima sofrida pelo corpo em gramas (g) e direção do movimento, no corpo humano é definido por 3 eixos triortogonais sendo eles: x (das costas para frente); y (da direita para a esquerda) e z (dos pés a cabeça) (IIDA; GUIMARÃES, 2016).

Figura 4- Eixos triortogonais de propagação de vibrações



Fonte: UFSC- Ergonomia e Segurança Industrial.

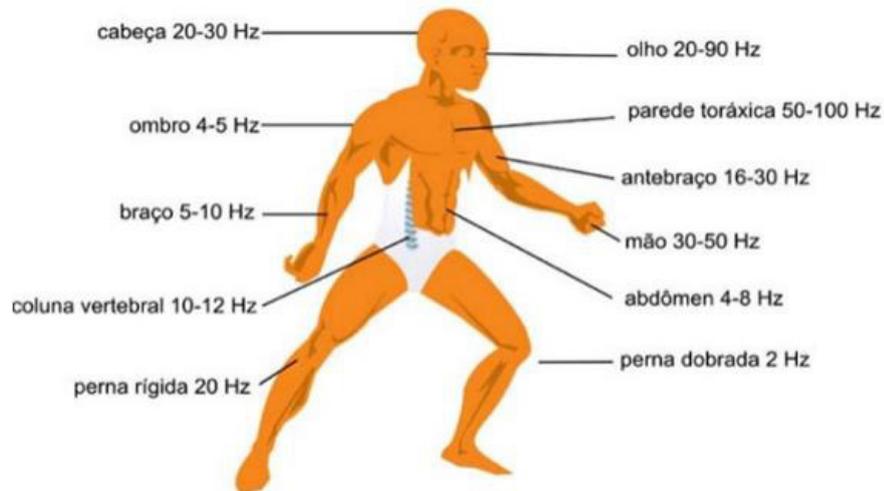
O número de vezes em que o movimento é realizado completamente em um segundo, equivale a sua frequência em Hertz, portanto, pode-se afirmar que um equipamento que possui um registro de frequência de 50 Hz, realiza cinquenta ciclos completos em 1 segundo.

A energia vibratória, após ser absorvida e dissipada pelo corpo é atenuada pelo impacto nos órgãos tendo como consequência a ressonância.

A ressonância acontece quando a frequência natural da estrutura de um equipamento coincide com a frequência da vibração aplicada, assim sendo a condição de vibração é drasticamente piorada (HARRIS, 2002). O que implica que quando um equipamento emite uma frequência vibratória coincidente com a frequência vibratória do corpo humano, o movimento é exponencialmente aumentado, tornando-se prejudicial.

Percebe-se na Figura 6 a variação de recepção do corpo humano ao efeito vibracional nos diferentes eixos corporais. Longitudinalmente há uma tolerância, transversalmente, outra, o que faz com que a vibração, dependendo do nível de exposição aja de maneira sistêmica, ou em partes determinadas do corpo (VENDRAME,2006).

Figura 5 - Frequências naturais de vibração presentes no corpo humano.



Fonte: Vendrame (2006).

Além dos fatores externos como a fonte da vibração e as frequências as quais o trabalhador é submetido, outros fatores influenciam a ação vibracional no corpo.

Como o organismo possui uma biodinâmica sofisticada, a sensibilidade à vibração está condicionada também a fatores presentes durante o desempenho da atividade específica, como a postura de trabalho, a tensão muscular, a direção em que se processa o movimento, amplitude, duração e dose de exposição. (SCARPIN; FERREIRA, 2015).

As relações da exposição a vibração com o corpo humano, no trabalho, foi estudada cientificamente em 1862 pelo médico Francês Maurice Raynaud, ao observar distúrbios musculares em membros superiores de trabalhadores expostos. Em 1911 o cientista italiano Loriga, descreveu uma síndrome muito similar em operadores de martelletes, sete anos mais tarde, Alice Hamilton descreveu uma espécie de anemia nas mãos de trabalhadores de Indiana, após inúmeras conferências internacionais, convencionou-se o direcionamento de pesquisa e investigação da vibração ocupacional. (VENDRAME, 2006).

Todos os estudos aos quais se teve acesso para elaboração desta pesquisa relacionaram os mesmos grupos de efeitos e enfermidades na saúde de trabalhadores expostos à vibrações como descrito em Scarpin e Ferreira, 2015, vão desde a sobrecarga do sistema nervoso central e periférico até distúrbios vasculares e problemas relacionados ao âmbito postural e ao aparecimento de desordens musculo esqueléticas. Vendrame, 2006, destaca:: perda de equilíbrio, labirintite e lentidão de reflexos; alteração do sistema cardíaco com o aumento da frequência de batimentos; distúrbios visuais, como visão turva; náusea, gastrite e ulcerações; cinetose, vômitos e mau estar em geral; comprometimento permanente de diversos órgãos do corpo; degeneração gradativa do sistema muscular e nervoso incluindo a enfermidade

popularmente conhecida como dedo branco, que causa a perda manipulativa do tato e dificulta a coordenação motora.

Figura 6- Doença do dedo branco em mãos de operadores de máquinas



Fonte: Syndrome Vibration NIOSH, 1998.

Tendo em vista as diferentes reações corporais às frequências e sua sensibilidade a ressonâncias, a elaboração de máquinas deve evitar frequências que provoquem esse fenômeno, fora das frequências de ressonância, a resistência do organismo tende a aumentar (IIDA; GUIMARÃES, 2016). Segundo Harris (2002), a condição vibratória pode sair do estado de ressonância alterando-se a frequência natural de vibração da estrutura em questão, como no caso do corpo humano isso não é possível, a alteração da massa seria substituída pela alteração da rigidez do material que vibra, ou através do uso de atenuadores como EPI's.

Quadro 3-Sintomas da exposição a ressonância.

Frequência de ressonância de partes do corpo Submetidas as vibrações no sentido vertical		
Parte do corpo	Frequência de ressonância (Hz)	Sintomas
Corpo inteiro	4 a 5, 10 a 14	Desconforto geral
Cérebro	Abaixo de 0,5; 1 a 2	Enjoo, sono
Cabeça	5 a 20	
Olhos	20 a 70	Dificuldade visual
Queixo	100 a 200	Dificuldade na fala
Laringe	5 a 20	Mudança de voz
Ombros	2 a 10	
Antebraço	16 a 30	
Mãos	4 a 5	
Tronco	3 a 7	
Coração	4 a 6	
Caixa torácica	60	Dores no peito
Estômago	3 a 6	Dores estomacais
Abdômen	4 a 8	
Rins	10 a 18	Urina solta
Sistema cardiovascular	2 a 20	

Fonte: Iida; Guimarães (2016).

Para critérios de avaliações a âmbito nacional, o Ministério da Saúde do Brasil, elaborou um manual de doenças relacionadas ao trabalho onde constam descritas as enfermidades que podem acometer trabalhadores expostos a níveis inadequados de vibração:

Quadro 4- Enfermidades relativas a exposição de vibração em excesso

Agentes Etiológicos ou Fatores de Risco de Natureza Ocupacional	Doenças Casualmente Relacionadas aos Respectivos Agentes ou Fatores de Risco (denominadas e codificadas segundo o CID-10)
22-Vibrações (afecções dos músculos, tendões, ossos, articulações, vasos sanguíneos periféricos, ou nervos periféricos)	<p>Outros transtornos especificados dos tecidos moles (M79.8)            Osteonecrose (M87):Osteonecrose devida a Drogas (M87.1);            Outras Osteonecroses Secundárias (M87.3)            Doença de Kienböck do Adulto (Osteocondrose do Adulto do Semilunar do Carpo) (M93,1) e outras Osteocondropatias especificadas (M93.8)            Síndrome de Reynaud (I73.0)            Acrocianose e Acroparestesua (I73.8)            Outros transtornos articulares não classificados em outra parte: Dor Articular (M25.5)            Síndrome Cervicobraquial (M53.1)            Fibromatose da Fáscia Palmar: Contratura ou Moléstia de Dupuytren (M72.0)            IESÕES DO OMBRO (M75): Capsulite Adesiva do Ombro ( Ombro Congelado, Periartrite do Ombro) (M75.0); Síndrome do Manguito Rotatório ou Síndrome do Supra-espinhoso (M75.1); Tendinite Bicipital (M75.2); Tendinite Calcificante do Ombro (M75.3); Bursite do Ombro (M75.5); Outras Lesões do Ombro (M75.8); Lesões do Ombro não-especificadas (M75.9)            Outras entesopatias (M77): Epicondilite Medial (M77.0); Epicondilite lateral (Cotovelo de Tenista); Mialgia (M79.1)</p>

Fonte: Ministério da Saúde (2001).

A convenção da OIT de n.148 promulgada por decreto n. 93.413 de 15 de outubro de 1986, determina que a legislação nacional deverá dispor de medidas preventivas para limitar a exposição de riscos profissionais à vibração, visando a proteção dos trabalhadores. Inicialmente o anexo 8 da NR-15 preconizava que a avaliação de exposição à vibração deveria ser feita tomando como base os critérios estabelecidos nas normas ISO 2631:1997 (*Mechanical Vibration Shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration*), ISO 5349 (*Mechanical Vibration Shock – Evaluation of human exposure to hand transmitted vibration*) e ISO 8041 (*Human response to Vibration – Measuring Instrumentation*), porém haviam algumas dificuldades oriundas dessa orientação, pois estas normas não exerciam limites determinados de exposição, além de dificuldades no processo de avaliação e interpretação dos parâmetros ora dispostos. Somente em 2012 a FUNDACENTRO instaurou a NHO 09 –

Avaliação ocupacional a vibrações de corpo inteiro e a NHO 10 – Avaliação de exposição ocupacional a vibrações de mãos e braços. Através da portaria 1.297 de 13 de agosto de 2014 o anexo 8 da NR-15 passou a dispor dos limites de exposição de vibração ocupacional para corpo inteiro e para mãos e braços (SALIBA, 2014)

Além de todas essas normas, ainda são adotados em alguns casos as orientações da Norma da União Européia Diretiva 2002/44/EC.

Para fins de delimitação didática do presente trabalho, nos atentaremos especificamente aos critérios para avaliação de exposição a vibrações de corpo inteiro, uma vez que o objetivo do trabalho se encontra na análise de fatores que influenciam a vibração ocupacional em tratores agrícolas, onde este tipo de vibração é preponderante, para tanto, atentemos o que dizem as normas estabelecidas sobre o assunto.

#### **4.1 Vibração de corpo inteiro (VCI)**

A vibração de corpo inteiro, como visto, é entendida como a influência do referido agente físico transmitido pelo assento, ou pés aos operadores de máquinas e transportes no local de trabalho. Este tipo de vibração encontra-se normalmente atrelado a atividades agrícolas, florestais, de extrativismo e na construção civil, porém não estando restritas somente a estas (DIRETIVA EUROPEIA 2002/44/EC).

Somente no Reino Unido, estimam-se mais de 9 milhões de trabalhadores expostos semanalmente a vibração de corpo inteiro, sendo 7,2 milhões de homens e 1,8 milhões de mulheres, levando em conta exposição a vibração em carros, vans, trens, ônibus e motocicletas (PALMER *et. al.*, 2000). A vibração pode ser o maior fator de risco entre motoristas profissionais, estes, podem apresentar fatores etiológicos associados como: achatamento da lordose lombar, aumento da pressão de disco, amolecimentos mecânicos dentre outros. Foram constatados em modelos animais, várias alterações associadas, dentre elas: alterações histológicas, nutrição comprometida e aumento de pressão de disco (WILDER & POPE, 1996).

Os níveis de vibrações em tratores agrícolas nos eixos longitudinal, transversal e vertical na interface assento operador, em diferentes condições de operação, expõem os operadores de tratores agrícolas a acelerações vibracionais acentuadas e ao risco de desenvolvimento diversas desordens na coluna vertebral decorrentes (MEHTA *et. al.*, 2000).

Para que possamos compreender como lidar com a VCI, atentemos para o que diz a NR 15- atividades e operações insalubres em seu anexo 8, que trata especificamente sobre vibrações.

Ja no início do anexo, o item 1.2 deixa claro que os parâmetros técnicos para uma avaliação quantitativa de VCI e VMB<sup>7</sup> são estabelecidos nas Normas de Higiene Ocupacional da FUNDACENTRO nas NHO's 9 e 10, portanto é preciso conhecê-las para entender os parâmetros avaliativos de maneira aprofundada (BRASIL, 2014).

Para caracterizar e classificar a insalubridade, o anexo 8 da NR 15 estabelece apenas os limites estabelecidos nas NHO's que para corpo inteiro são fixados pelo item 2.2, onde fica caracterizada a condição insalubre, caso sejam superados quaisquer dos limites de exposição ocupacional diária a VCI:

- a) valor da aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de  $1,1 \text{ m/s}^2$ ;
- b) valor da dose de vibração resultante (VDVR) de  $21,0 \text{ m/s}^{1,75}$ .

A condição insalubre so deverá ser caracterizada mediante a apresentação de resultado superior aos valores dos itens acima. Sendo comprovada a exposição a níveis superiores, fica caracterizada a atividade insalubre de grau médio. As avaliações de vibração devem corresponder a apresentação de laudo técnico constando datas e objetivos, descrição e resultado da avaliação preliminar, métodos, critérios e representatividade das análises amostrais, equipamentos utilizados, bem como certificados de calibração dos mesmos, circunstâncias específicas, dados e interpretação e a apresentação de medidas preventivas e corretivas, caso necessárias (BRASIL, 2014).

O anexo 8 é bastante sucinto e carente de maiores explicações, mas bastante pontual quanto ao que é necessário para a obtenção dos valores relativos ao que se considera uma exposição danosa ao trabalhador.

Vendrame (2006), estabelece que para se analisar sinais vibratórios, se faz necessário conhecer algumas medidas, sendo elas:

Valores de Pico, utilizados para níveis máximos de impacto de curta duração, mas não informam sobre tempo de movimento e duração;

Valores médios, a média da exposição, sem relação com o movimento real, usa-se quando mensura-se valores de quantidade física de amplitude em um tempo determinado;

Raiz média quadrática (rms) é a mais importante medida pois reflete a energia contida no movimento, representando seu potencial de destruição e traduz-se pela raiz quadrada dos quadrados médios, dos valores aferidos no movimento;

Fator de forma e crista, permitem conhecer a dinâmica do movimento ao longo do tempo determinando sua homogeneidade, ou falta de padrão fixo;

---

<sup>7</sup> Vibração de mãos e braços.

Valor pico a pico, constata a máxima amplitude de onda.

No entanto, a Norma de Higiene Ocupacional NHO 10 da FUNDACENTRO, que trata especificamente das vibrações no corpo inteiro, estabelece que os parâmetros básicos para a avaliação da exposição à VCI correspondem à aceleração resultante da exposição normalizada (*aren*) e ao valor da dose de vibração resultante (VDVR) (FUNDACENTRO, 2013),

A aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*) pode ser definida pela aplicação da seguinte expressão (FUNDACENTRO, 2013):

$$aren[m/s^2] = are \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

Onde:

*are* = aceleração resultante da exposição, que representa a exposição diária à vibração;

*T* = duração da jornada de trabalho diária, expresso em horas ou minutos;

*T*<sub>0</sub> = 8 horas ou 480 minutos.

O valor de dose de vibração resultante (VDVR) corresponde ao valor de dose de vibração que representa a exposição diária, considerando a resultante dos três eixos de medição, que pode ser obtido por meio da expressão que segue (FUNDACENTRO, 2013):

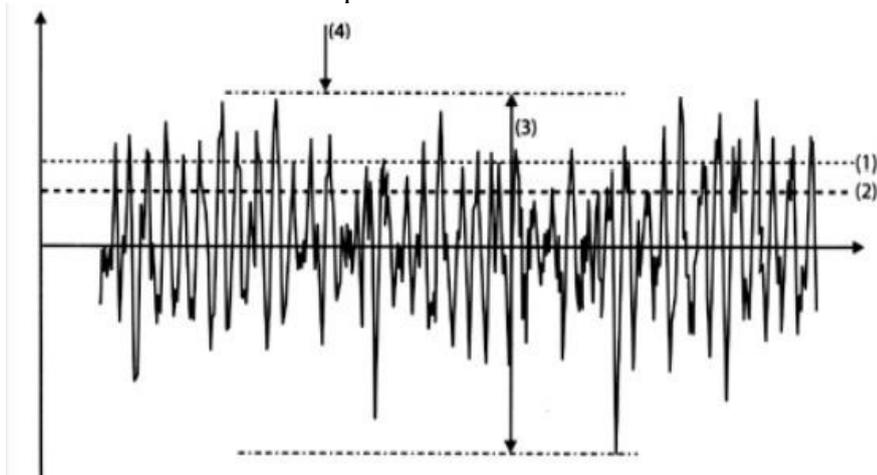
$$VDVR = \left[ \sum_j (VDV \exp_j)^4 \right]^{1/4} \quad [m/s^{1,75}]$$

Onde:

VDV<sub>expj</sub> = valor de dose de vibração da exposição representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j”, sendo “j” igual a “x”, “y” ou “z”.

Esses dois parâmetros são adotados para VCI, pois o *aren* reflete a maior precisão na assimilação de dados obtidos na leitura vibracional enquanto que o VDVR representa os picos vibracionais com os quais o operador pode se deparar ao longo da jornada de trabalho, como passar por um trecho de solo mais acidentado, ou passar por algum buraco por exemplo.

Gráfico 3- Leitura de frequência vibracional.



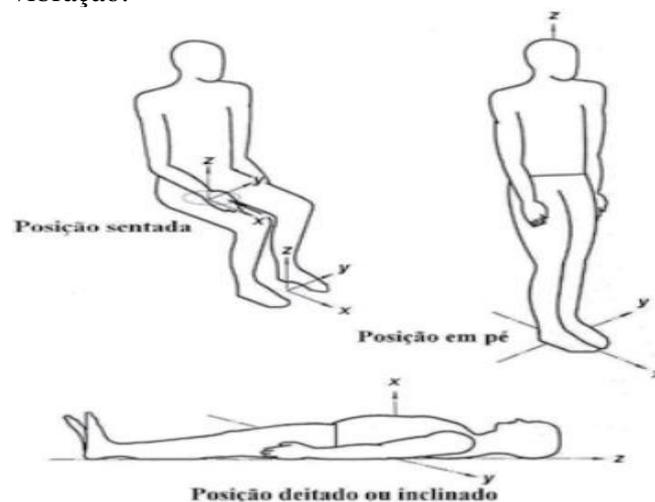
Fonte: Vendrame, 2006.

A faixa (1) indica o valor rms (root mean square), (2) indica a vibração média, (3) indica o valor pico a pico e (4) indica o valor de pico máximo.

O aren, leva em conta a aferição da vibração que se situa na faixa (1), enquanto o VDVR afere e quantifica a dose de vibração considerando os valores apontados por (4) no gráfico.

A aferição da vibração é feita por um aparelho chamado acelerômetro, que calcula a aceleração do corpo nos três eixos corporais mostrados anteriormente, trata-se portanto de uma medição triaxial, a figura abaixo mostra o plano de orientação de acordo com a posição de trabalho do operador:

Figura 7- Eixos corporais adotados para aferição de vibração.



Fonte: FUNDACENTRO, 2013.

A aferição é feita por sensores presentes no acelerômetro, que podem funcionar sem contato necessário (capacitivo, indutivo), ou com contato (eletromagnético e piezoelétrico). A medição básica é feita utilizando aparelho situado entre a pele e a fonte de vibração, o aparelho conta com um sensor, um amplificador e um diferenciador ou integrador, que transforma a medida em sinal elétrico. O estabelecimento dos três eixos para nortear a medição se deve ao fato de o corpo apresentar diferentes resistências à vibração. O centro de coordenadas para o estabelecimento dos eixos para a vibração de corpo inteiro é o tronco (VENDRAME, 2006).

Figura 8- Posicionamento de sensor para aferição de VCI em trabalhadores sentados



Fonte: FUNDACENTRO, 2013.

A aceleração média resultante ( $amr$ ) pode ser obtida pela seguinte equação (FUNDACENTRO, 2013):

$$amr[m/s^2] = \sqrt{(f_x am_x)^2 + (f_y am_y)^2 + (f_z am_z)^2}$$

Onde:  $am_j$  = aceleração média;

$f_j$  = fator de multiplicação em função do eixo considerado ( $f = 1,4$  para os eixos “x” e “y” e “f” = 1,0 para o eixo “z”);

Após adquirida a  $amr$ , é necessário obter a aceleração resultante de exposição parcial ( $arep$ ) geralmente utilizada em jornadas que possuem uma subdivisão de trechos ou de cargas de trabalho específicas em diferentes parcelas, entende-se por componente de exposição que pode tanto ser representada por um único valor, como pela somatória de duas ou mais tarefas realizadas de forma sequencial. O  $arep$  é portanto uma média aritmética obtida do somatório de componentes de exposição avaliados, dividido pelo número de componentes, como mostra a equação (FUNDACENTRO, 2013):

$$arep_i [m/s^2] = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s amr_{ik}$$

Onde:

amrik = aceleração média resultante relativa à késima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição “i”;

s = número de amostras da componente de exposição “i” que foram mensuradas.

Em seguida é necessário realizar o cálculo da aceleração resultante da exposição (are), através da equação (FUNDACENTRO, 2013):

$$are [m/s^2] = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n n_i arep_i^2 T_i}$$

Onde:

arepi = aceleração resultante de exposição parcial;

ni = número de repetições da componente de exposição “i” ao longo da jornada de trabalho;

Ti = tempo de duração da componente de exposição “i”;

m = número de componentes de exposição que compõem a exposição diária;

T = tempo de duração da jornada diária de trabalho.

Por fim chega-se ao cálculo da aceleração resultante de exposição normalizada (aren), encontrada pela equação (FUNDACENTRO, 2013):

$$aren [m/s^2] = are \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

Onde:

are = aceleração resultante de exposição;

T = tempo de duração da jornada diária de trabalho expresso em h. ou min.;

T0 = 8 horas ou 480 minutos.

Para o cálculo do VDVR é necessário seguir um caminho semelhante ao feito para o aren, é necessário inicialmente obter os valores de dose de vibração (VDV), fornecidos pela leitura do acelerômetro e realizar o somatório destas de acordo com o número de componentes de exposição, aplicando na equação (FUNDACENTRO, 2013):

$$VDV_{ji} = \left[ \sum_{k=1}^s (VDV_{jik})^4 \right]^{1/4} \quad [m/s^{1,75}]$$

Onde:

VDV<sub>jik</sub> = valor de dose de vibração relativa à késima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição “i”;

s = número de amostras da componente de exposição “i” que foram mensuradas.

Em seguida deve-se calcular o valor da dose de vibração parcial (VDV<sub>exp</sub>) compreendido através da seguinte expressão (FUNDACENTRO, 2013):

$$VDV_{exp_j} = \left[ \sum_{i=1}^m (VDV_{exp_{ji}})^4 \right]^{1/4} \quad [m/s^{1,75}]$$

Sendo:

VDV<sub>exp<sub>ji</sub></sub> = valor da dose de vibração da exposição representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j”, relativo à componente de exposição “i”;

m = número de componentes de exposição que compõem a exposição diária.

E finalmente chega-se ao cálculo do Valor da dose de vibração resultante VDVR por meio da equação (FUNDACENTRO, 2013):

$$VDVR = \left[ \sum_j (VDV_{exp_j})^4 \right]^{1/4} [m/s^{1,75}]$$

De posse dos valores obtidos das aferições para aren e VDVR, devem-se considerar dois conceitos para a tomada de decisão relativa a implementação de medidas preventivas, ou da continuidade à solicitação de insalubridade por exposição excessiva.

O primeiro deles é limite de exposição (LE), é o parâmetro que representa a condição na qual o trabalhador é exposto repetidamente e ainda assim não sofre efeitos adversos, que causem danos à saúde, ou seja é a quantidade de vibração limite a qual o mesmo pode ser exposto durante a jornada de trabalho, sem que isso lhe seja prejudicial. O limite de

exposição definido pela NHO 09 é de valor da aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de  $1,1 \text{ m/s}^2$  e valor da dose de vibração resultante (VDVR) de  $21 \text{ m/s}^{1,75}$  (FUNDACENTRO, 2013).

O segundo é nível de ação, é o valor acima do qual devem ser tomadas ações preventivas a fim de diminuir a probabilidade de que as exposições ao agente causem danos à saúde do trabalhador e evitar que o limite de exposição seja ultrapassado. O nível de ação estabelecido pela NHO é de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de  $0,5 \text{ m/s}^2$  e ao valor da dose de vibração resultante (VDVR) de  $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$  (FUNDACENTRO, 2013).

De modo a observar as sugestões recomendadas para a tomada de decisão de acordo com os valores encontrados elaborou-se a seguinte tabela:

Tabela 5- Ações recomendadas para valores de aren e VDVR.

<i>aren</i> ( $\text{m/s}^2$ )	<i>VDVR</i> ( $\text{m/s}^{1,75}$ )	<i>Consideração</i> <i>técnica</i>	<i>Atuação</i> <i>recomendada</i>
0 a 0,5	0 a 9,1	aceitável	No mínimo manutenção da condição existente.
> 0,5 a < 0,9	> 9,1 a < 16,4	acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas.
0,9 a 1,1	16,4 a 21	região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.
acima de 1,1	acima de 21	acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas.

Fonte: FUNDACENTRO, 2013.

#### 4.2 Efeitos da exposição de corpo inteiro a vibração na saúde do operador

Como vimos, a vibração pode causar diversos problemas a saúde do trabalhador, principalmente quando este entra em ressonância com a frequência vibratória, à parte das enfermidades que acometem os membros superiores como mãos e braços serem mais frequentes e comuns, os danos causados com a exposição vibracional de corpo inteiro podem ser igualmente, ou mesmo potencialmente mais severos, a depender dos níveis de exposição.

A grande maioria dos trabalhos que relacionam a VCI com doenças ocupacionais é

unânime com relação a ocorrência de enfermidades diversas na coluna cervical<sup>8</sup>, porém além destes, são citados outros sintomas possíveis. Efeitos psicológicos como percepção alterada, desconforto e dor tem sido relatadas em ensaios complexos. (SILVEIRA, PILATTI E LAAT, 2012). Pode-se observar no quadro abaixo a correlação entre as frequências e os sintomas experimentados:

Quadro 5- Sintomas oriundos de frequências vibracionais no corpo inteiro.

Sintomas	Frequência
Sensação geral de desconforto	4-9
Sintomas na cabeça	13-20
Maxilar	6-8
Influência na linguagem	13-20

Fonte: Silveira, Pilatti e Laa, 2012.

Carvalho (2019), denota que enfermidades como dor articular, síndrome cervibraquial, lesões do ombro, mialgia e dor lombar baixa podem estar diretamente relacionadas a exposição a vibração ocupacional. No entanto, a pesquisa sobre o controle de exposição ocupacional à vibrações no Brasil são escassas, causando divergências entre a relação das enfermidades verificadas, como sendo de desgaste natural, ou acelerado pela atividade.

O estudo de Zanatta, Amaral e Vidor (2019) evidencia a correlação entre dores nas costas e a exposição a vibração de corpo inteiro como fator de risco em pilotos de aviões agrícolas, onde 62% dos pilotos relataram sentir algum sintoma musculoesquelético nos últimos 12 meses.

Além da degeneração da coluna, é possível constatar outras enfermidades que tem sido relatadas em estudos de longa data, como distúrbios gastrointestinais e até mesmo problemas no sistema reprodutor.(GRIPHIN, 1980)

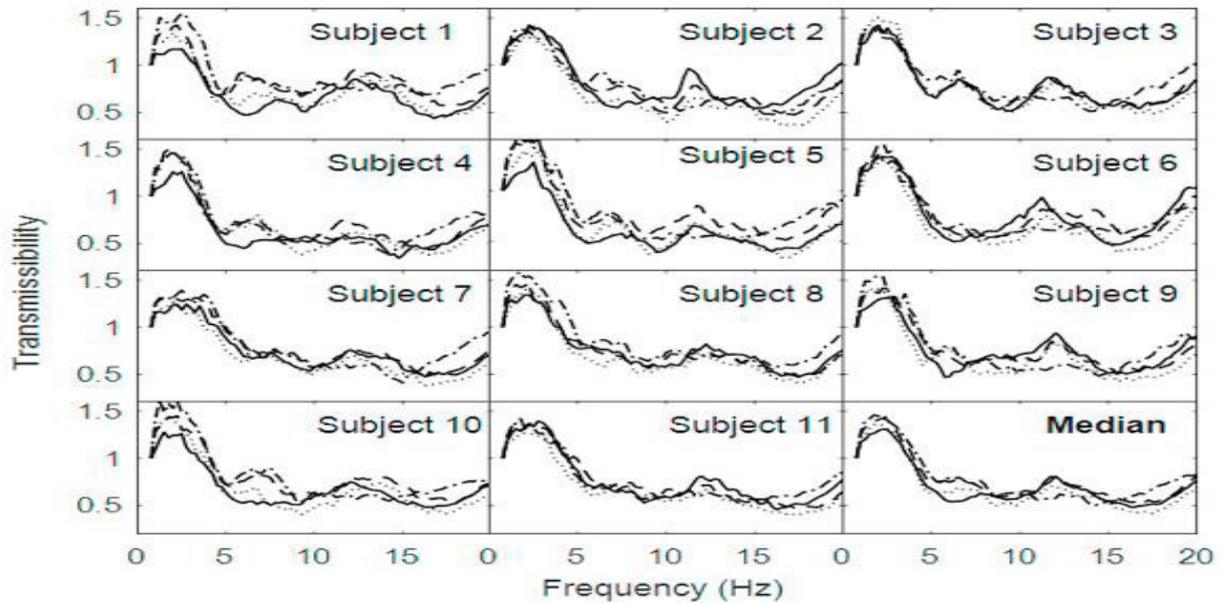
A diretiva europeia 2002/44/EC é enfática quando classifica como complexos os efeitos provenientes da exposição a vibração, pois dependem de uma série de fatores que podem refletir em diferentes acometimentos do trabalhador, a postura de trabalho, por exemplo, pode desencadear diferentes problemas.

É o que mostra o ensaio recente conduzido por Adam et. al (2020), onde analisou-se o efeito da postura de trabalho na magnitude da vibração recebida pelo corpo de 11 operadores, relacionando o desempenho do assento com quatro posições posturais usuais de trabalho e 3 intensidades vibratórias diferentes. Os resultados mostraram que a condição de encosto apresentou a maior transmissibilidade vibratória enquanto a postura relaxada teve

<sup>8</sup> MORAES et., al. 2016. CARVALHO, 2010. SILVEIRA, PILATTI E LAAT, 2012. SANDI et. al., 2018. MORAES et al., 2006.

maior redução de frequência de ressonância transmitida.

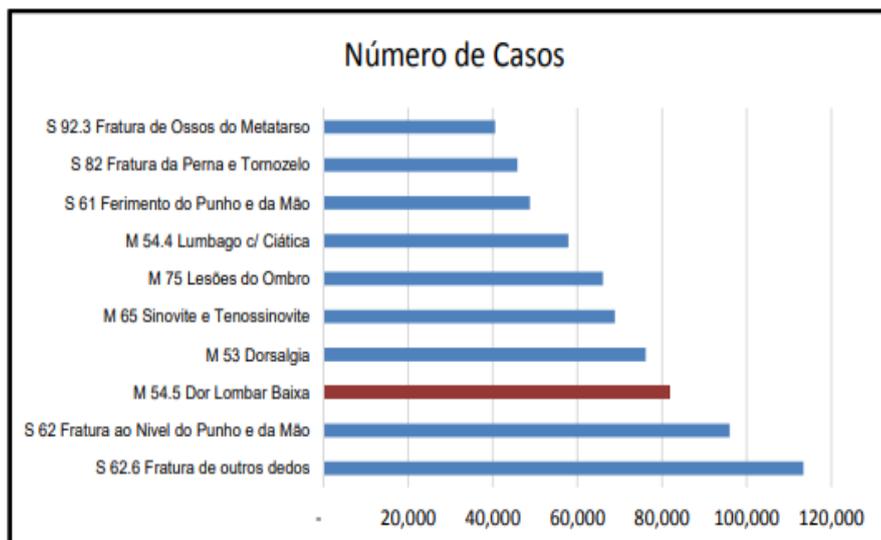
Gráfico 4- Transmissibilidade do assento a  $2\text{m/s}^2$  r.m.s para diferentes posturas: (1) relaxado (.....), (2) desleixado (\_\_\_\_), (3) tenso (- - -), (4) com encosto para as costas (-.-.-).



Fonte: Adams *et. al.* (2020)

Embora a maioria dos estudos demonstrem a prevalência de lombalgias e hérnias discais em trabalhadores expostos a VCI, estas são patologias não específicas a este tipo de exposição. Ainda assim, a incidência desses distúrbios é representativa no número de trabalhadores afastados e sua recorrência no país:

Gráfico 5- Recorrência de doenças no Brasil 2004-2013.



Fonte: Adaptado de Brasil, (2008)

Permanecem ainda em aberto, outras enfermidades possíveis, dada a complexidade e o número de fatores a serem levados em conta para relacionar, ou mesmo quantificar a vibração e determinar os seus efeitos e todas as enfermidades a serem causadas pelo agente.

Este trabalho prosseguirá tentando relacionar alguns desses fatores e sua influência na geração de vibração para o operador de tratores agrícolas.

### **4.3 Medidas de segurança contra a exposição à vibração**

A norma NHO 09 deixa claro que existem dois tipos de medidas a serem tomadas a partir do momento em que a avaliação do agente vibracional indica condições possivelmente prejudiciais a saúde do trabalhador.

Medidas preventivas: Visam minimizar a probabilidade de que as exposições à vibração causem prejuízos ao trabalhador exposto evitando que o limite de exposição seja ultrapassado. As medidas incluem o monitoramento periódico da exposição, a informação e treinamento aos trabalhadores e o controle médico. O monitoramento consiste em constantes avaliações do meio laboral com as avaliações e níveis de exposição, devendo sempre os trabalhadores serem informados sobre: riscos decorrentes da exposição a VCI, cuidados e procedimentos adequados durante a operação (obedecer a velocidade recomendada, tirar pausas etc.), estar ciente dos riscos logo após sair do ambiente de trabalho, que possam vir a desencadear problemas, como flexões ou torções bruscas do corpo, bem como levantamento de pesos, serem informados da importância das medidas de segurança para sua saúde e serem instruídos a sempre relatar quaisquer incômodos relativos a exposição ao agente vibracional.

As medidas corretivas, são aquelas tomadas quando da verificação de valores acima dos limites de exposição, ou situados em região de incerteza, nas quais tem-se que realizar mudanças na operação para que os valores de exposição fiquem dentro da faixa não prejudicial ao trabalhador. Nestas medidas estão inclusas desde mudanças no processo até reorganizar rotinas e procedimentos com reorganização e alteração de rotinas, adequação de veículos, instalação de componentes ergonômicos, como no caso de assentos especiais, reduzir o tempo de exposição diária, alternando com outras funções.

Nenhuma dessas medidas é limitada pela norma, podendo ser somadas as estratégias de mitigação de riscos, qualquer medida aprovada pelo empregador, que possua eficácia comprovada na redução de exposição e que não implique em nenhum outro risco aos trabalhadores.

A diretiva europeia 2002/44/CE, também possui um quadro de responsabilidades que deixa claro questões básicas sobre como proceder diante de situações de excesso de exposição ao trabalhador:

Quadro 6- Resumo de responsabilidades da Diretiva Europeia 2002/44/CE.

<i>Quadro 1 Resumo das responsabilidades definidas na Directiva 2002/44/CE</i>			
<i>Artigo da Directiva</i>	<i>Quem</i>	<i>Quando</i>	<i>Requisito</i>
<b>Artigo 4</b>	Entidade patronal	Risco potencial de vibrações transmitidas ao corpo inteiro	<b>Determinação e avaliação dos riscos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recorrer a pessoas ou serviços competentes para avaliar o risco de transmissão de vibrações ao corpo inteiro.</li> <li>✓ Dispor de uma avaliação dos riscos.</li> <li>✓ Identificar as medidas a tomar para o controlo da exposição dos trabalhadores, bem como para a informação e formação dos mesmos.</li> <li>✓ Manter actualizada a avaliação dos riscos.</li> </ul>
<b>Artigo 5</b>	Entidade patronal	Riscos devidos à vibração	<b>Eliminação ou redução da exposição:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tomar medidas de carácter geral para eliminar os riscos ou para reduzi los ao mínimo</li> </ul>
		Exposições acima do <b>valor de acção de exposição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estabelecer e implementar um programa de medidas destinadas a eliminar ou reduzir ao mínimo a exposição a vibrações transmitidas ao corpo inteiro</li> </ul>
		Exposições acima do <b>valor-limite de exposição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tomar medidas imediatas para prevenir a exposição acima do valor-limite</li> <li>✓ Apurar as razões pelas quais o valor limite de exposição foi ultrapassado</li> </ul>
		Trabalhadores em situações particulares de risco	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Adaptar-se às necessidades dos trabalhadores em situações particulares de risco</li> </ul>
<b>Artigo 6</b>	Entidade patronal	Trabalhadores sujeitos ao risco devido a vibrações transmitidas ao corpo inteiro	<b>Informação e formação dos trabalhadores:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Para todos os trabalhadores expostos riscos de vibrações transmitidas ao corpo inteiro.</li> </ul>
<b>Artigo 7</b>	Entidade patronal	Trabalhadores sujeitos ao risco devido a vibrações transmitidas ao corpo inteiro	<b>Consulta e participação dos trabalhadores:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Consultar, de uma forma equilibrada e em tempo útil, os trabalhadores e os seus representantes sobre a avaliação dos riscos, as medidas de controlo, a vigilância da saúde e a formação.</li> </ul>
<b>Artigo 8</b>	Médico ou outra pessoa devidamente qualificada	Em caso de doença	<b>Vigilância da saúde:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Informar o trabalhador dos resultados da vigilância da saúde</li> <li>✓ Dar informações e recomendações ao trabalhador sobre quaisquer exames de saúde a que deva submeter-se após o final da exposição.</li> <li>✓ Apresentar à entidade patronal os resultados mais significativos das medidas de vigilância da saúde</li> </ul>
	Entidade patronal	Em caso de doença	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Réver a avaliação dos riscos</li> <li>✓ Prosseguir com a eliminação ou redução dos riscos</li> <li>✓ Reexaminar o estado de saúde dos trabalhadores que tenham estado expostos de forma semelhante.</li> </ul>
	Entidade patronal	Exposições acima do <b>valor de acção de exposição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Os trabalhadores têm direito a uma adequada vigilância da saúde</li> </ul>

Fonte: Diretiva europeia 2002/44/EC.

## 5 FATORES QUE INFLUENCIAM NA VIBRAÇÃO DO TRATOR AGRÍCOLA

Diante de todas as variações e implicações estudadas, pode-se entender que a vibração é um agente físico de ação complexa no corpo humano, sendo seus efeitos condicionados pelas condições específicas de exposição ao agente, ou seja, além dos fatores básicos que são usados para caracterização de atividade insalubre em se tratando de frequência vibracional (frequência, direção, intensidade e duração) há uma gama de fatores derivados destes como pode-se observar no quadro 7:

Quadro 7- Fatores que podem influenciar na atividade vibratória.

Fatores Físicos	Fatores Biodinâmicos	Fatores individuais
Frequência de vibração; Espectro de frequência; Direção de movimento.	Área de superfície de localização e massa de partes da mão em contato com a fonte de vibração.	Taxa de trabalho da máquina; método de trabalho, operações contínua ou intermitente.
Duração de exposição de cada dia de trabalho.	Dureza do material que está em contato com ferramentas manuais, por exemplo, metal em desbaste.	Habilidade e produtividade; Postura em que realiza as tarefas; Tensão e esforço que mantém no trabalho.
Histórico profissional referente à anos em emprego envolvendo exposição à vibração.	Posição da mão e braço relativos ao corpo.	Susceptibilidade individual à vibração; Pré-disposição a patologias relacionadas com o sistema nervoso e circulatório.
Estado das ferramentas de manutenção; Características das ferramentas (peso, possibilidade de apoio balanceada etc.).	Textura da manivela - macia e flexível versus material rígido.	Hábitos: Fumo e uso de drogas. Exposição a outros agentes físicos e químicos como fatores ambientais (umidade, temperatura, ruído, etc.)
Possibilidade de uso de equipamentos de proteção incluindo luvas, botas, etc.; Prática de período de descanso do trabalho.	Histórico médico com relação ao organismo, principalmente aos danos nos dedos e mãos, particularmente ulceração.	Doença ou dano anterior ao corpo, ou dedos e mãos. Constituição física (Peso, altura, etc.)

Fonte: Ximenes, 2006.

Em face da enorme árvore de possibilidades, o quadro 7 representa uma pequena parte dos fatores a serem analisados em um estudo de exposição a atividade vibracional. Procurou-se então analisar a atuação e influência da vibração em tratores agrícolas delimitando-se a 5 fatores, que estão diretamente relacionados ao âmbito rural e que estão imersos especificamente em grande parte na rotina da atividade, incorporados em atividades que vão desde preparo do solo, até semeadura, plantio, colheita e atividades diversas de transporte e demais operações. São eles: Velocidade de deslocamento, superfície de rolamento, pressão interna de ar nos pneus, tipos de pneus e uso de implementos agrícolas.

## 5.1 Velocidade de deslocamento

O fator no qual mais se encontram estudos publicados, de influência direta nos níveis de vibração, é a velocidade de deslocamento do trator. Os ensaios práticos são, em sua maioria, conduzidos com base em mais de um fator sendo relacionados, em múltiplos tratamentos.

No âmbito agrícola, é preponderante que se conheça a influência da velocidade de operação, não apenas pela vibração, mas pela otimização do conjunto trator-equipamento, pela qualidade da operação, pelo consumo de combustível etc. Além disso, as condições de trabalho sobre superfícies irregulares são uma característica inerente ao trabalho no campo.

Para ilustrar a influência da velocidade de deslocamento na variação da vibração ocupacional, nos debruçaremos sobre os resultados de alguns estudos em que a velocidade influencia diretamente na aferição de vibração.

Com o passar dos anos e o avanço científico, houve não apenas o aperfeiçoamento tecnológico referente a automação, mas também de técnicas e designs empregados na fabricação de tratores agrícolas, isso ocasionou a diminuição de massa do mesmo em virtude dos componentes materiais utilizados serem mais leves, estes fatores aliados ao natural aumento de potência e velocidade das máquinas contribuiu tanto para o aumento da vibração, como para uma série de novos problemas, principalmente quando se trata de tratores agrícolas de alta potência (VILIBOR *et.al.*, 2014). Portanto se antigamente a vibração era uma preocupação real pelo aspecto rústico e pela falta de recursos ergonômicos dos tratores, atualmente a potência cada vez maior e a utilização de ligas leves na construção das máquinas mostram a necessidade de se monitorar a vibração de maneira contínua.

A atenção para os operadores de máquinas agrícolas no que concerne a vibração deve ser sempre presente, além da tendência natural da máquina a motor produzir uma vibração própria, fatores ambientais podem amplificá-la. Comumente em condições de campo, durante a limpeza da área de produção, durante os processos de colheita, ou semeadura, as vibrações mecânicas originadas pelo funcionamento da máquina, unidas a vibração pelo deslocamento do trator por um solo de rugosidade superficial variável, podem proporcionar vibrações nas faixas de frequência de vibração natural do corpo, uma vez que o tronco vibra a uma frequência de 4 a 8 Hz e o trator normalmente situa-se na faixa de 1 a 7 Hz (SANDI *et. al.*, 2018). Caso as frequências coincidam, ocorre ressonância e a magnitude da vibração é amplificada, tornando-se prejudicial.

Todavia, antes mesmo de se tornar uma ameaça à saúde do operador, a vibração

interfere de outras maneiras, como relatam Kroemer e Grandjean (2005) a percepção visual e o desempenho psicomotor são alterados, sendo que erros de direção se tornam significativamente mais prováveis de ocorrer com acelerações na ordem de  $0,5 \text{ m s}^{-2}$ , isso, sem mencionar o aumento do stress e a diminuição da produtividade dos trabalhadores expostos.

Como maneira de mitigar os efeitos da vibração, ferramentas, mecanismos e acessórios ergonômicos são desenvolvidos, entretanto adaptações ergonômicas em países emergentes não leva em conta detalhes anatômicos do operador e suas características específicas, dispondo de mecanismos adaptados e impondo novos empecilhos referentes a disposição de comandos (SILVA *et. al.*, 2011).

Dentre as estratégias compreendidas para a mitigação da intensidade vibracional, podem-se adotar a redução da intensidade na fonte, combinada com a diminuição do tempo de exposição e o uso de equipamentos de proteção individuais quando aplicável, porém se faz necessário conhecer a realidade da máquina e suas especificações gerais e próprias para que obtenha-se um planejamento estratégico eficiente de combate ao agente (CUNHA *et.al.* 2012).

Zehsaz *et. al.*, (2011) relata que , na maioria das vezes, o produtor opta por tratores que disponibilizam apenas proteção de cabine contra poeira e água deixando os aspectos ergonômicos em segundo plano.

Passemos então ao exame dos casos práticos. Em ensaio conduzido em Botucatu no estado de São Paulo, Sandi *et. al.*, (2018) avaliou os níveis de vibração incidentes em um trator agrícola de fabricação Grammer AC do Brasil, 4x2, TDA, em uma pista de vibração construída em madeira. O trator foi submetido a diferentes lastragens e velocidades. Foram analisados os parâmetros de aceleração média resultante, fator de crista, valor da dose de vibração e projeção de dose para 8 horas de trabalho.

Foram estabelecidas 4 condições de lastragem, sendo elas: completamente lastrado com combinação de lastragem líquida e sólida e quatro velocidades de deslocamento, com duas pressões de inflação nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente. Em todas as situações adotou-se distribuição de 35% do peso no eixo dianteiro e 65% no traseiro. O delineamento experimental foi completamente casualizado, em esquema fatorial, com cinco repetições:

Tabela 6- Aceleração média resultante ( $m s^{-2}$ ) com diferentes lastragens e velocidades de deslocamento.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	2,81 Bd	3,21 Cc	4,16 Bb	5,49 Ba
L2	2,86 Bd	3,49 Bc	4,34 Bb	5,57 Ba
L3	3,10 Ad	3,52 Bc	4,67 Bb	5,89 Aa
L4	3,19 Ad	3,90 Ac	4,99 Ab	6,06 Aa
F de Lastragem	140,34**			
F de Velocidade	2832,04**			
F de Lastragem * Velocidade	4,66**			
CV(%)	2,43			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. \*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1:  $1,19 m s^{-1}$ ; V2:  $1,47 m s^{-1}$ ; V3:  $1,75 m s^{-1}$ ; V4:  $2,08 m s^{-1}$ .

Fonte: Sandi, 2018.

Tabela 7- Valores da dose de vibração ( $m.s^{1.75}$ ) com diferentes lastragens e velocidades de deslocamento.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	7,79 Bd	8,83 Cc	10,66 Cb	13,92 Ca
L2	8,28 Ad	9,27 BCc	10,98 Cb	14,12 Ca
L3	8,35 Ad	9,57 Bc	11,88 Bb	14,66 Ba
L4	8,65 Ad	10,44 Ac	12,72 Ab	15,24 Aa
F de Lastragem	19,73**			
F de Velocidade	365,22**			
Lastragem * Velocidade	8,89**			
CV(%)	1,83			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. \*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1:  $1,19 m s^{-1}$ ; V2:  $1,47 m s^{-1}$ ; V3:  $1,75 m s^{-1}$ ; V4:  $2,08 m s^{-1}$ .

Fonte: Sandi, 2018.

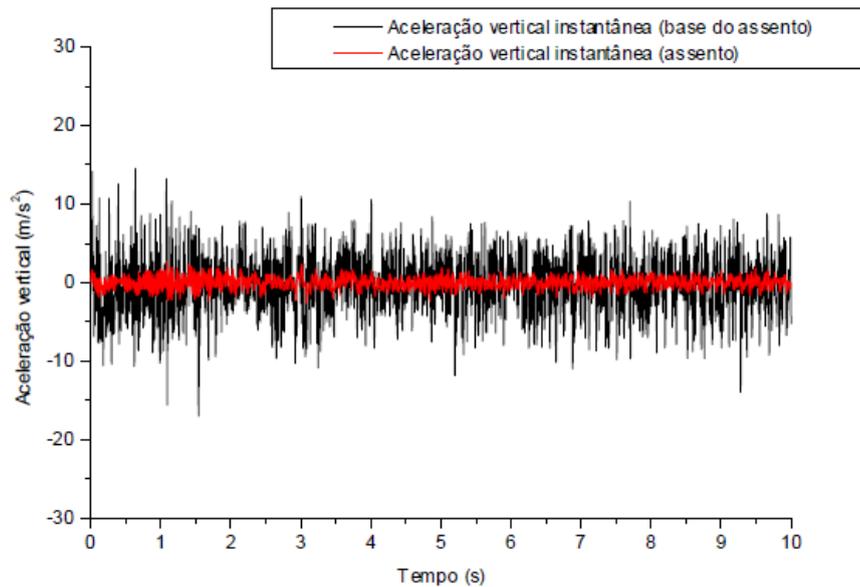
Através dos parâmetros obtidos como resultado, pode-se observar que as maiores velocidades geraram as piores condições de trabalho em todos os parâmetros avaliados, exceto para a aceleração mínima resultante. A lastragem máxima do trator gerou condições menos nocivas ao operador quando foi associada com as menores velocidades de deslocamento.

O estudo de Santos Filho *et.al.* (2003) examinou a vibração incidente no assento de um trator agrícola comparando com a vibração incidente na base do mesmo, durante a execução de operação de gradagem em diferentes velocidades de trabalho.

O trator 4x2 TDA de modelo Perkins 4000 foi lastrado e encontrava-se acoplado a uma grade destorroadora-niveladora *off-set*, foram experimentadas três velocidades distintas em três marchas respectivas.

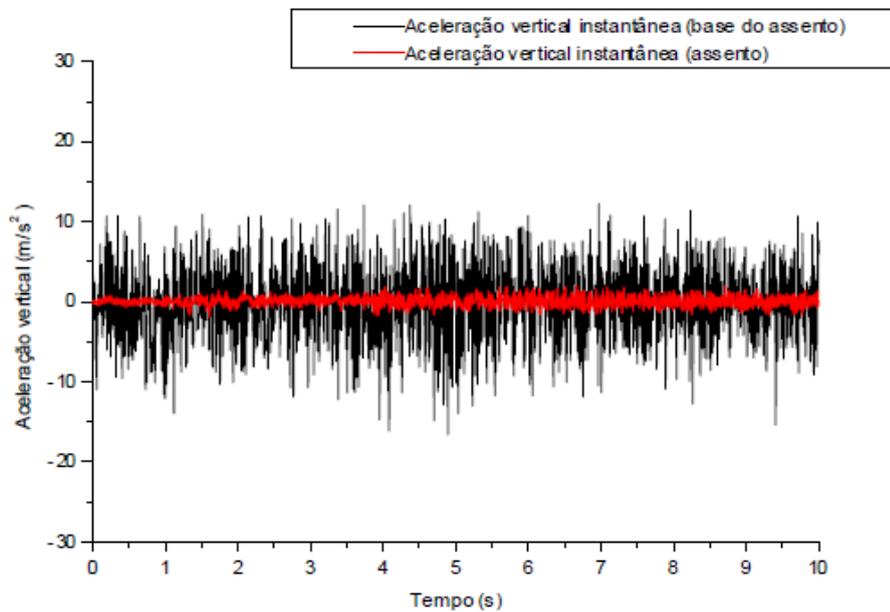
Foram utilizados dois acelerômetros piezoelétricos posicionados no assento e na base, respectivamente:

Gráfico 6- Aceleração vertical na parte superior e na base do assento na primeira marcha.



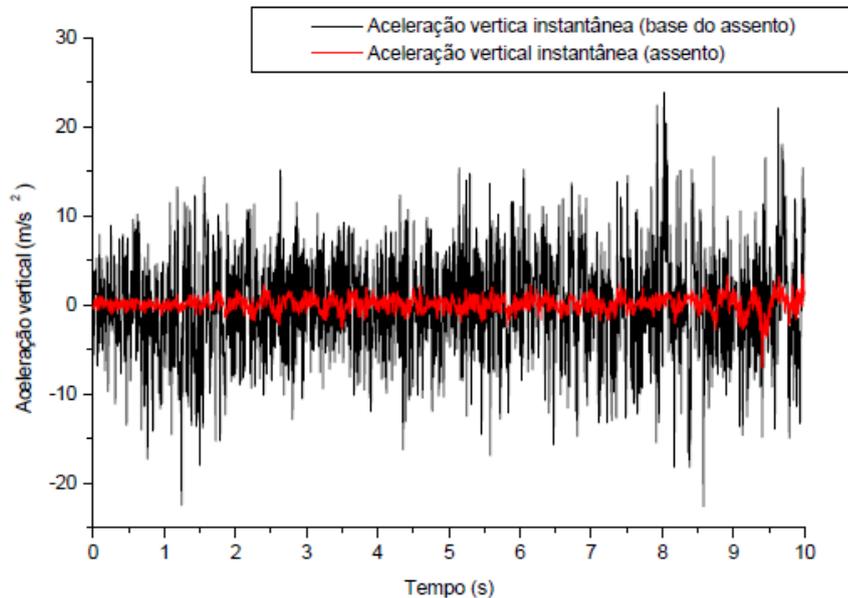
Fonte: Santos Filho *et.al.* (2003).

Gráfico 7- Aceleração vertical na parte superior e na base do assento na segunda marcha.



Fonte: Santos Filho *et.al.* (2003).

Gráfico 8- Aceleração vertical na parte superior e na base do assento na segunda marcha.



Fonte: Santos Filho *et.al.* (2003).

Os níveis de aceleração encontrados na parte superior do assento foram consideravelmente menores aos encontrados na base para as 3 velocidades, o que mostra a eficiência de amortecimento do assento utilizado. Os valores de aceleração ponderada global calculados encontram-se bem acima dos limites determinados para uma exposição durante 4 horas de trabalho, de acordo com a norma ISO 2631 (1997). Para a terceira marcha a aceleração ponderada global foi de 2,638 m/s<sup>-2</sup>, enquanto para a segunda marcha foi 2,089m/s<sup>-2</sup> e para a primeira marcha foi 1,727 m/s<sup>-2</sup>. Portanto foram observados os maiores níveis vibracionais nas maiores velocidades.

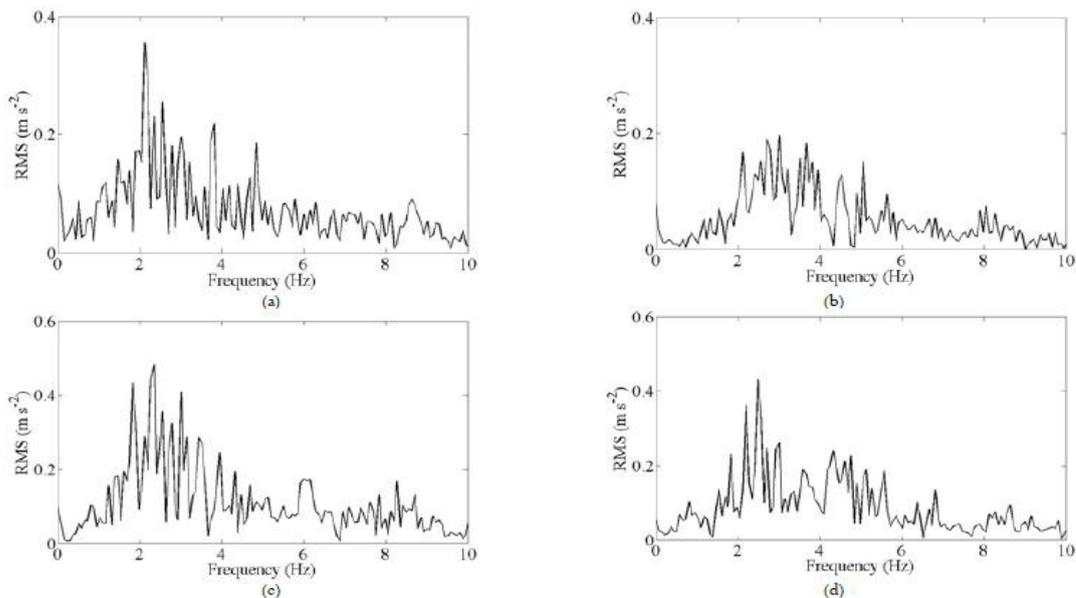
Com a finalidade de medir a vibração nos eixos dianteiro e traseiro de um trator agrícola, Vilibor (2014), realizou um ensaio de campo em esquema fatorial 3x2 (velocidade de vibração x tração dianteira acionada e não acionada) com 3 repetições, a vibração foi aferida por meio de dois acelerômetros uniaxiais colocados nos eixos dianteiro e traseiro em um trator Valtra modelo 800L acoplado a dois implementos separadamente, um arado de disco e uma grade de discos offset.

As três velocidades de trabalho para os testes de campo foram pré-estabelecidas para operações de aração e gradagem.

A aceleração quadrada média (RMS) dos eixos foi usada para caracterizar os níveis de vibração. Os valores de aceleração RMS permitem observar a magnitude da vibração

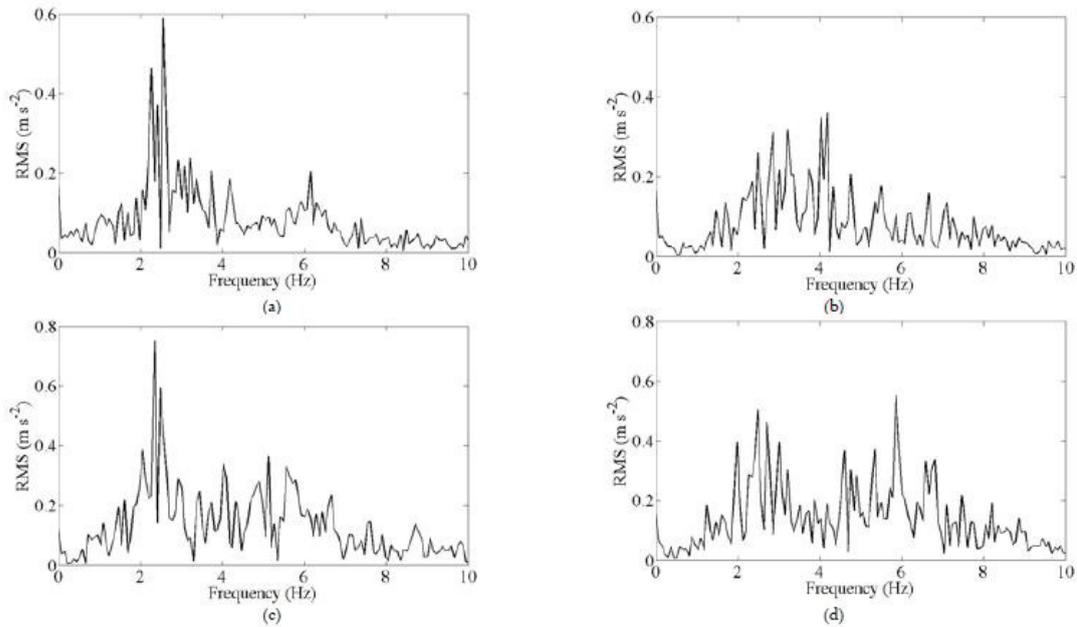
atuando no trator e estimar os níveis possivelmente transmitidos ao operador. Os valores obtidos foram confrontados com a ISO 2631-1 (ISO, 1997), que estabelece limites de exposição para aceleração máxima em ordem para fornecer conforto ideal para o operador da máquina. O espectro de frequência foi obtido para os eixos dianteiro e traseiro do trator durante a aração e gradagem. As diferenças na assinatura espectral foram estudadas para ambos os eixos, para a velocidade mais alta e mais baixa do trator, com e sem usar a tração dianteira auxiliar. A exemplo podemos notar os resultados:

Gráfico 9- Espectros de frequência para o eixo traseiro durante a operação de aragem: (a) velocidade de avanço V1 com tração dianteira desligada, (b) velocidade de avanço V1 com tração dianteira ligada, (c) velocidade de avanço V3 com tração dianteira desligada.



Fonte: Vilibor, 2014.

Gráfico 10- Espectros de frequência para o eixo dianteiro durante a operação de aragem: (a) velocidade de avanço V1 com tração dianteira desligada, (b) velocidade de avanço V1 com tração dianteira ligada, (c) velocidade de avanço V3 com tração dianteira ligada.



Fonte: Vilibor, 2014.

Pode-se notar na análise espectral a diferença na atividade vibratória entre as velocidades 1 e 3 e como essas são atenuadas pelo uso da tração dianteira do trator. O ensaio concluiu que os níveis de vibração foram mais altos em todas as combinações para a velocidade mais elevada, enfatizando esse fator como preponderante na intensidade da atividade vibratória. Mesmo com o auxílio da tração dianteira a vibração aumenta conforme aumenta a velocidade, tais dados reforçam a necessidade de assentos voltados ao conforto e segurança do operador de máquinas.

É possível através destes diferentes ensaios em campo, nos quais são relacionados outros fatores como lastragem, utilização de implementos e tração concluir que todos tem sua influência sobre a vibração mecânica podendo surtir efeito negativo, ou positivo. No caso da velocidade de operação, a magnitude das vibrações aumenta consideravelmente, independente destes fatores, se mostrando um fator a ser acompanhado nas operações agrícolas devido a influência diretamente proporcional que exerce na exposição a vibração. Recomenda-se estabelecer, a depender das condições ambientais e da análise prévia, procedimentos de velocidade de operação recomendadas, para as atividades que possam ser prejudiciais ao operador. De maneira que se verifiquem dentre as velocidades de trabalho sugeridas pelo fabricante a que melhor se adequa a qualidade geral da operação, aliando a maior produtividade pelo conjunto operador- máquina.

## 5.2 Superfície de rolamento

Conforme prosseguimos, constatamos que a atividade vibratória se propaga por diversos meios que não são exclusivamente gerados pelo próprio trator, como o tipo de solo e sua rugosidade no estudo relatado por ZEHSZ *et. al.* (2011), condições externas podem ser de extrema influência para o aumento da vibração.

Barač *et.al.* (2016) afirma que diferentes frequências de vibrações são originadas sobre diferentes superfícies de rolamento e que a vibração resultante onde decorre do resultado da velocidade de deslocamento do trator, vibração do motor, marcha de operação e o tipo de implemento.

Para estudar a influência da superfície de rolamento, na emissão de ruído e vibrações durante as atividades agrícolas de um trator, Andrade *et. al.* (2016) realizou um estudo avaliativo em um trator 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), deslocando-se sem e com implemento, em 3 superfícies de rolamento, realizando a aferição da vibração por meio de acelerômetro triaxial piezoelétrico.

O experimento foi realizado com a execução de operações em 3 tipos de superfícies, sendo elas: uma superfície de vibração normatizada, feita de madeira de acordo com a norma ISO 5008 (2002), uma pista em concreto com 200 metros de comprimento e 4 metros de largura e declividade de 1% no sentido do comprimento e uma pista com solo mobilizado com 400 metros de comprimento e 20 metros de largura com 1% de declividade no sentido do comprimento. Todos os tratamentos foram feitos com a mesma velocidade de deslocamento. O implemento utilizado foi um distribuidor de fertilizantes a lanço com acoplagem em sistema de três pontos. O acelerômetro foi instalado no banco do operador, os valores aferidos em medição de média ponderada foram utilizados para estabelecer o valor da dose de vibração (VDV) e a projeção de dose para 8 horas  $A(8)$ , através da equação:

$$A(8): ap \sqrt{\frac{t}{t_0}}$$

Onde:

$ap$ = é a aceleração ponderada, combinada nos três eixos, equivalente em  $m s^{-2}$ ;

$t$ = tempo da jornada real de trabalho

$t_0$ = é uma duração de referência de 8 horas.

Os resultados obtidos pelos autores podem ser observados abaixo, na Tabela 15, para os 6 tratamentos. Os resultados foram comparados aos parâmetros estabelecidos pela NHO 09 da FUNDACENTRO retratados na Tabela 9:

Tabela 8 - Valores da dose de vibração (m/s<sup>1.75</sup>) com e sem uso de implemento em três superfícies de rolamento diferentes.

Implemento	Superfície		
	Concreto	Solo Mobilizado	Pista de Vibração
Sem	1,27 Ac	2,93 Ab	10,63 Aa
Com	1,20 Ac	2,20 Bb	9,67 Ba
F de Implemento		112,36**	
F de Pista		9993,00**	
F de Implemento x Pista		23,56**	
CV (%)		2,53	
DMS Linha		0,257	
DMS Coluna		0,209	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. \*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

Fonte: Andrade *et. al.*, 2016.

Tabela 9- Valores de projeção A (8) para jornadas de trabalho com e sem uso de implemento em três superfícies de rolamento distintas.

Implemento	Superfície		
	Concreto	Solo Mobilizado	Pista de Vibração
Sem	0,103 Ac	0,236 Ab	0,847 Aa
Com	0,089 Ac	0,157 Bb	0,731 Ba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. \*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

Fonte: Andrade *et. al.*, 2016.

Os resultados demonstraram que para a condição de vibração todos os tratamentos realizados na pista de ensaio de vibração ficaram acima do nível de ação ( $9,1 \text{ m s}^{-1.75}$ ), porém abaixo da região de incerteza. A recomendação nesse caso é adotar um conjunto de medidas preventivas para amenizar os efeitos da vibração.

Para os demais tratamentos há a aparente associação de uniformidade das pistas com os níveis de vibração, uma vez que o concreto apresentou os valores mais baixos e o solo mobilizado apresentou valores intermediários, o implemento, apesar de não prevenir as frequências prejudiciais na pista de ensaio, amenizou os valores em todos os tratamentos.

Há a possibilidade dessa diminuição ter sido observada por não se tratar de um implemento de preparo de solo, onde há arrasto, não havendo contato, já o aumento do peso do conjunto trator implemento pode ter influenciado na estabilidade do trator.

Santos (2016), seguindo a mesma linha de pesquisa, realizou um ensaio experimental que consistiu em avaliar a exposição do operador às vibrações de corpo inteiro e

mãos e braços em um trator agrícola utilizando três pressões internas de ar nos pneus, duas velocidades de deslocamento e duas superfícies de rolamento.

O ensaio conduzido em área experimental foi subdividido em duas áreas, sendo uma com preparo de aração e gradagem e a outra com material de cobertura (campim Mombaça). O trator utilizado foi de fabricação Valtra, 4x2, TDA, modelo BM 125i.

A vibração de corpo inteiro foi medida através da utilização de acelerômetro triaxial fixado em um “*seatpad*” fixado na base do assento. Os parâmetros avaliados seguiram o estabelecido na NHO 09 da FUNDACENTRO do ano de 2013. Foram medidas a aceleração média, aceleração resultante da exposição normalizada (aren), valor da dose de vibração resultante (VDVR) e o pico máximo, que é o valor mais alto de medição da aceleração resultante dos eixos x, y ou z.

O delineamento experimental foi completamente aleatório em fatorial 2x2x3, composto por duas superfícies de rolamento (solo solto e solo com material vegetal), duas velocidades de deslocamento (4,3 km/h e 6,4 km/h) e três pressões internas de pneus sugeridas pelo fabricante ( 10, 14 e 18 lb/pol<sup>2</sup>) nos dianteiros e (12, 16 e 20 lb/pol<sup>2</sup>) ficando no total de 12 tratamentos.

Os valores constantes na Tabela 17 representam os resultados médios de cada parâmetro avaliado no ensaio:

Tabela 10- Valores médios de aren, VDVR e PMAXR por parâmetro avaliado.

Fontes de Variação		VDVR (m.s <sup>-1,75</sup> )	aren (m.s <sup>-2</sup> )	PMAXR (m.s <sup>-2</sup> )
Valor de F	Cobertura	7024,1*	574,5*	21,05*
	Velocidade	4355,2*	908,7*	78,99*
	Pressão	12116,67*	1874,8*	67,55*
CV (%)		10,17	12,54	12,06
Superfície de rolamento	Sem cobertura	12,97 a	0,74 a	14,5 a
	Com cobertura	10,06 b	0,63 b	11,38 b
Velocidades de deslocamento	4,3 km.h <sup>-1</sup>	10,37 b	0,62 b	12,89
	6,4 km.h <sup>-1</sup>	12,66 a	0,76 a	12,23
Pressões	Máx.	14,84 a	0,87 a	14,62 a
	Sug.	11,5 b	0,67 b	14,34 a
	Min.	8,2 c	0,53 c	11,25 b

Legenda: \* (p<0,05); <sup>NS</sup> (não significativo). Médias sem letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

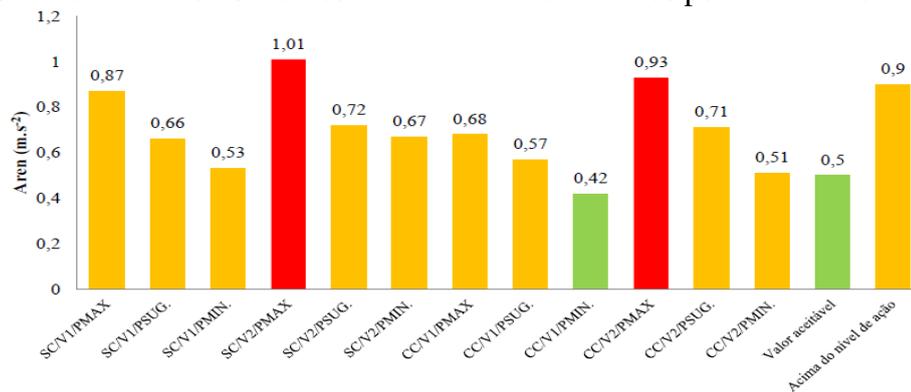
VDVR: Valor da dose de vibração resultante; aren: aceleração resultante de exposição normalizada; PMAXR:

Valor de pico máximo resultante.

Fonte: Santos, 2016.

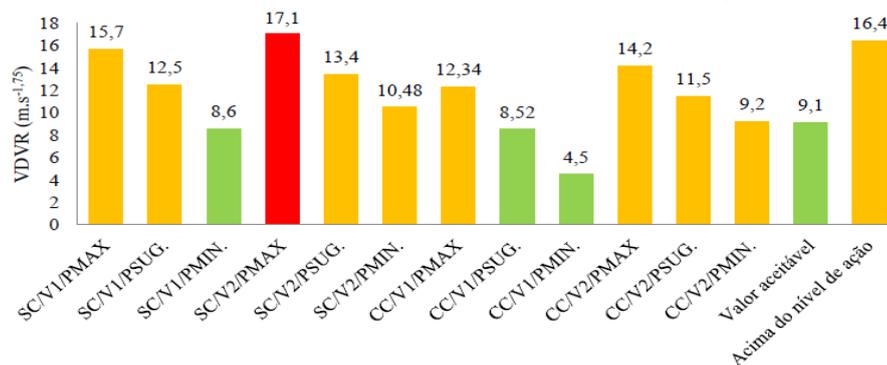
Pode-se verificar, na Tabela 17 que para as 3 condições avaliadas (aren, VDVR e PMAXR) foram constatadas acelerações mais elevadas nos tratamentos sem cobertura vegetal, nos tratamentos com maiores velocidades de deslocamento e nos tratamentos com maiores pressões internas. Portanto, a intensidade de vibração cresce em função do aumento da velocidade e da pressão interna dos pneus e diminui em função da cobertura de solo. Os gráficos 11 e 12 demonstram os valores individualizados por tratamento:

Gráfico 11- Valores médios de aren individualizados por tratamento.



Fonte: Santos, 2016.

Gráfico 12- Valores médios de VDVR individualizados por tratamento.



Fonte: Santos, 2016.

Se mantivermos nossa atenção para os valores referentes a superfície de rolamento, pode-se notar que todos os tratamentos obtiveram ação diminuída da vibração, em relação ao seu tratamento correspondente sem cobertura de solo, isso significa que o capim Mombaça promoveu a redução significativa da vibração atenuando os choques mecânicos provocado pela superfície disforme do solo. Os valores de pico máximo de aceleração de

vibração resultante não diferiram estatisticamente para as velocidades utilizadas, isso ocorreu provavelmente pela diferença de velocidade não ter sido suficiente para aumentar ou diminuir os choques mecânicos ocorridos ao longo do trajeto.

No gráfico 11 todos os tratamentos com exceção de T9 (Com cobertura, V1, pressão mínima) apresentaram aren acima do nível de ação, indicando a necessidade de adoção de medidas preventivas. T4 e T9 ficaram acima de  $0,9 \text{ m/s}^{-2}$  indicando a chamada reação de incerteza, nesse caso são necessárias tanto medidas preventivas como corretivas para atenuar a exposição de trabalho nessa condição.

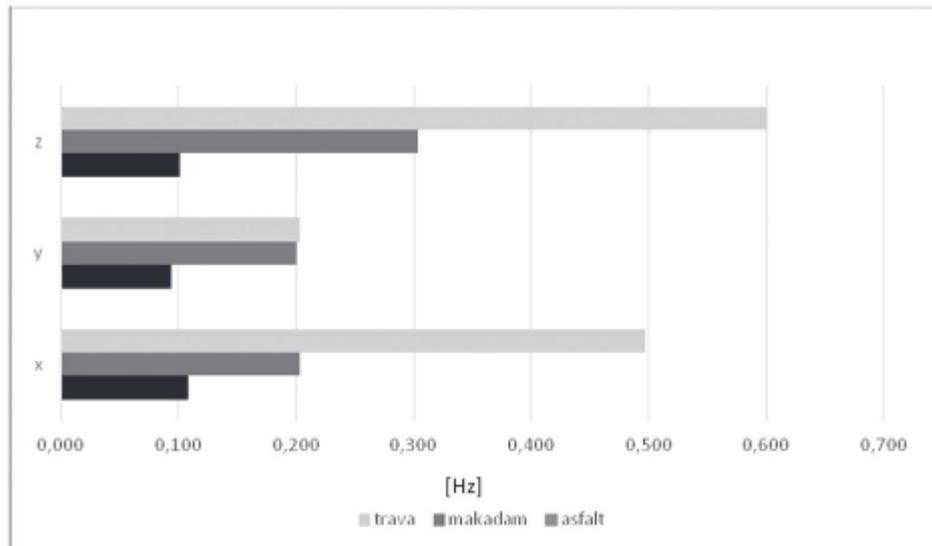
No gráfico 12, todos os tratamentos na cor amarela encontram-se acima do nível de ação estabelecido na NHO 09 entre  $9,1$  e  $16,4 \text{ m/s}^{1.75}$  podendo-se surgir para esses tratamentos, medidas preventivas, somente T4 necessita de ações corretivas por estar na região de incerteza entre  $16,4$  e  $21$ .

Portanto na conclusão deste ensaio, constatou-se que a cobertura vegetal foi eficiente na redução dos níveis de vibração mostrando que a superfície de rolamento influencia diretamente nos níveis de vibração aos quais o operador se encontra exposto.

Para traduzir o caráter múltiplo dos fatores que configuram a atividade vibratória e que tornam necessária avaliação detalhada da exposição para cada situação, observemos o ensaio de Barač *et.al.* (2016) realizado em um trator Landini modelo Powerfarm 100 com o objetivo de determinar o nível de vibrações transmitidas do assento ao tronco do operador do trator agrícola durante a movimentação do mesmo em diferentes superfícies de rolamento. A pesquisa foi realizada em áreas de produção e estradas de acesso, em três tipos de superfície: asfalto, macadame e grama. Foram medidos os valores das vibrações do trator ao longo dos eixos x, y e z. Cada medição teve duração de 30 minutos e 3 repetições. A partir dessas três medições, calculou-se o valor médio, que foi utilizado posteriormente no trabalho. Os valores-limite adotados para a comparação com os valores de exposição diária a vibrações atenderam o estabelecido na Diretiva Europeia 2002/89/391 / CEE de  $1,15 \text{ m s}^{-2}$  para corpo inteiro. As médias dos valores obtidos foi utilizada na composição do gráfico abaixo:

Gráfico 13- Valores médios de aceleração nos eixos x,y,z para cada

superfície de rolamento.



Fonte: Barač *et.al.* (2016).

Os maiores valores das vibrações medidas nos três eixos foram observados quando o trator se deslocou sobre a grama (*trava*-cinza claro), e os menores valores verificados, foram obtidos do deslocamento do trator sobre a superfície de asfalto (*asfalt*- preto), portanto pode-se concluir que o movimento do trator em diferentes superfícies de rolamento, gera diferentes valores de vibrações mecânicas transmitidas ao corpo do operador em todos os eixos de medição, todos os valores vibracionais foram menores do que o permitido  $1,15 \text{ m s}^{-2}$ ; a obtenção destes, indicam que a solução de projeto quanto à proteção do operador na exposição à vibrações mecânicas é satisfatória.

O que chama atenção para este ensaio, é que diferente do observado no trabalho de Santos, onde constatou-se na presença de cobertura de solo, um fator amenizante da atividade vibratória, o solo gramado apresentou maiores valores. Esses resultados provavelmente devem-se aos tipos diferentes de solo e a condições de relevo distintas, bem como o tipo de cobertura e a quantidade de material também diferirem tudo isso configura o caráter heterogêneo das medições a serem realizadas em cada atividade e para a necessidade de análise específica e detalhada das condições de trabalho a fim de estimar a influência de um fator como positivo ou negativo na intensidade vibratória.

Tamanha complexidade de fatores relacionáveis ainda são estudados devido a variáveis de reação do corpo ao estímulo vibratório. A exposição a esse tipo de agente não se restringe unicamente aos tratores, mas a toda atividade agrícola mecanizada podendo um ou mais fatores influenciarem de maneiras diferente em cada caso.

A superfície de rolamento é um exemplo irrestrito, como mostra o estudo de

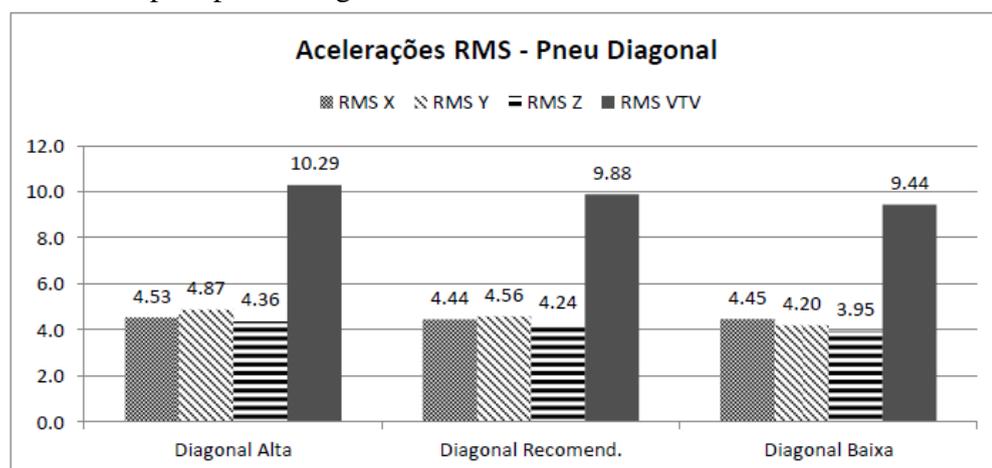
Zanatta, Amaral e Giacomello (2021) sobre a influência da atividade vibratória em aviões pulverizadores, no qual as maiores intensidades são constatadas na decolagem e no pouso, geralmente em pistas que não recebem manutenção regular, o estudo desenvolve uma equação para estimar a intensidade vibratória com base na superfície da pista, o tipo da aeronave e o tempo para as várias etapas de vôo deixando espaço para o estudo de choques múltiplos adentrando o que prediz a ISO2631-5.

### 5.3 Tipos de pneus

Assim como a pressão interna, o tipo de pneu utilizado em um trator, pode influenciar diretamente no seu desempenho de maneira geral, a tração adequada para cada tipo de solo aumenta e diminui de acordo com a escolha dos pneus.

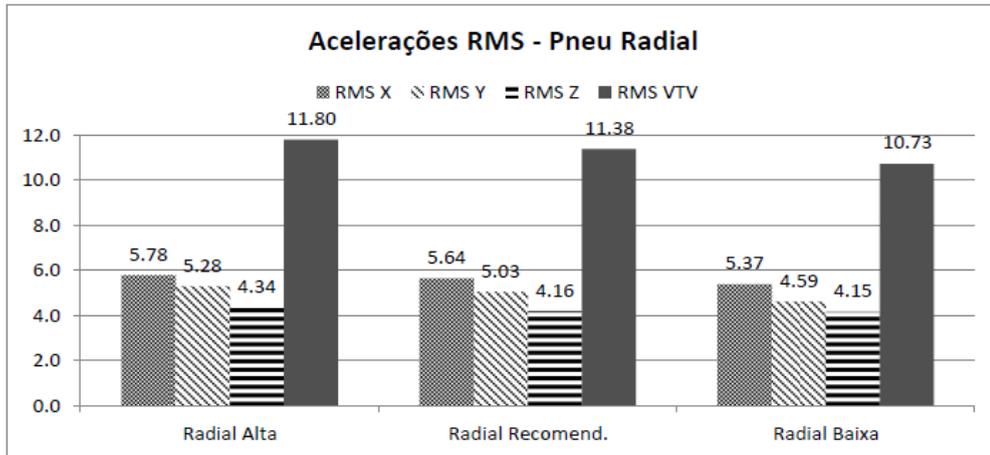
Ribas *et.al.*(2012), tem um ensaio bastante completo sobre a influência dos tipos de pneus na atividade vibratória do trator, nele, o autor compara os níveis de vibração no uso de pneus radiais e diagonais em três pressões internas de ar diferentes sendo conduzido em duas partes, uma para cada tipo de pneu. O trator utilizado foi da marca Massey Ferguson 4x2 TDA, acoplado a uma semeadora de mesma marca, modelo 509 com 9 linhas. Foram analisados os valores médios das acelerações eficazes (RMS) e os valores de dose de vibração de acordo com a ISO 2631. Os dados obtidos deram origem aos seguintes resultado:

Gráfico 14- Análise do valor eficaz (RMS) nos três eixos corporais (x,y,z) e valor total para pneus diagonais.



Fonte:Ribas *et.al.* (2012).

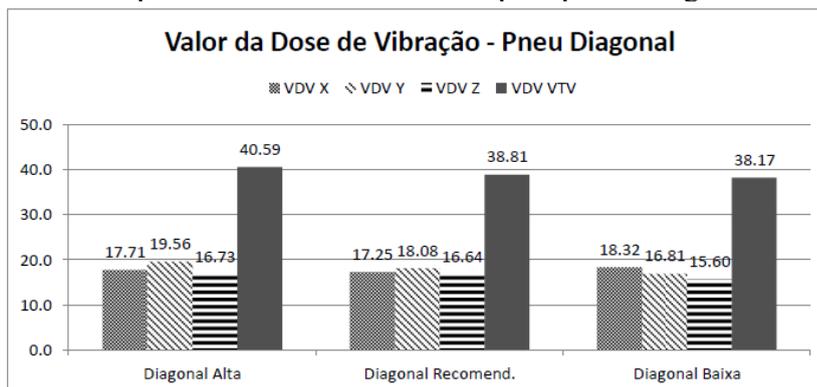
Gráfico 15- Análise do valor eficaz (RMS) nos três eixos corporais (x,y,z) e valor total para pneus radiais.



Fonte: Ribas *et.al.* (2012).

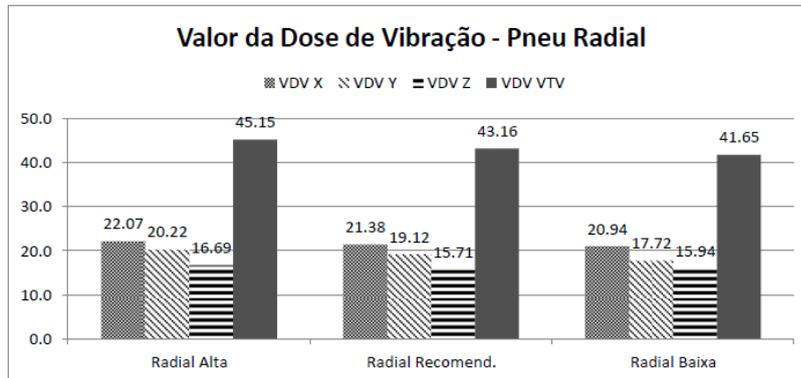
Para todos os tratamentos dos dois experimentos houve uma tendência semelhante, que é do aumento do nível de vibração em virtude do aumento da pressão interna dos pneus, entretanto não foram observadas diferenças significativas a nível estatístico. Os valores médios foram considerados extremamente desconfortáveis de acordo com a ISO 2631, um dos possíveis motivos levantados pelo autor para os elevados valores foi o da utilização da semeadora como implemento. Para os valores de dose de vibração foram elaborados os seguintes gráfico:

Gráfico 16- Valor de dose de vibração (VDV) nos três eixos e total em 3 pressões internas diferentes para pneus diagonais.



Fonte: Ribas *et.al.* (2012).

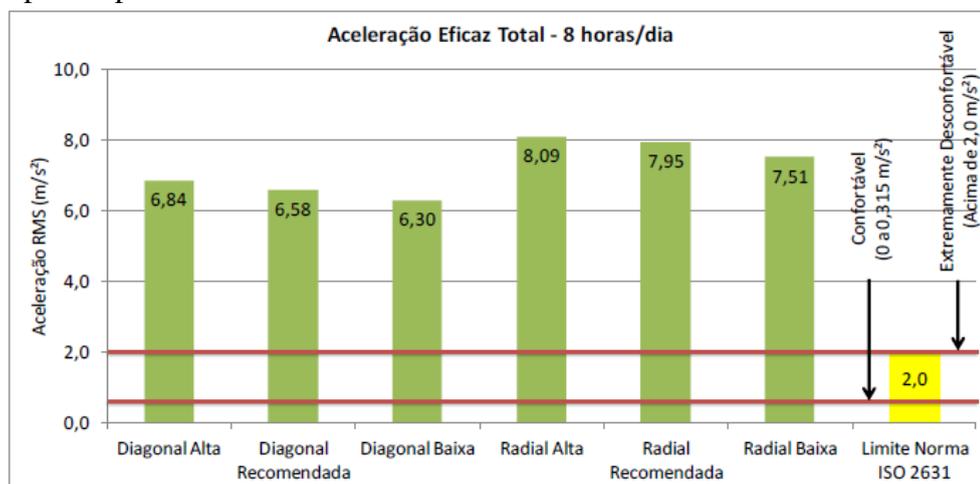
Gráfico 17- Valor de dose de vibração (VDV) nos três eixos e total em 3 pressões internas diferentes para pneus radiais.



Fonte: Ribas *et.al.* (2012).

Em ambos os experimentos os valores obtidos superam e muito o estabelecido na NHO 09, como visto, acelerações superiores a  $15 \text{ m/s}^{1,75}$  podem chegar a causar severo desconforto, dores e ferimentos. (BALBINOT, 2001)

Gráfico 18- Projeção A(8) para exposição de 8 horas de trabalho, nos dois tipos de pneus.



Fonte: Ribas *et.al.* (2012).

Os valores de projeção para dose de exposição diária de 8 horas de trabalho também ultrapassaram em muito os recomendados pela ISO 2631, situando-se na zona Extremamente desconfortável. Caso fossem constatados em situações de trabalho, só seria permitido ao operador, permanecer 20 minutos na operação.

Concluiu-se ao final do ensaio, que para os dois experimentos não houve condição mais indicada, porque as duas ficaram acima dos limites de conforto do trabalhador sendo ambos extremamente desconfortáveis pelo níveis de vibração obtidos.

A melhor configuração em ambos os experimentos foi verificada quando cada um

dos tipos de pneus estava com sua pressão interna mais baixa.

Apesar de serem visualmente mais acentuados os valores de vibração em todos os ensaios realizados nos pneus radiais, no estudo em questão não houve diferenças significativas para categorizar o uso de um dos dois como qualitativamente superior.

O ensaio de Leite *et.al.* (2020) encontra resultados semelhantes. O experimento teve como objetivo avaliar os parâmetros ergonômicos no posto de operação de um trator 4x2 TDA, em função da velocidade do trator, pressão interna e do tipo de construção dos pneus. Para cada tipo de construção de pneus, assim como no estudo de Ribas *et.al.* (2012), foi montado um experimento.

Dois acelerômetros uniaxiais foram dispostos perpendicularmente na base do assento, monitorando níveis de vibrações longitudinais e verticais. Os níveis vibracionais foram representados em aceleração média quadrática RMS (Root Mean Square). Os dados do experimento foram base para modelo resultante de análise de regressão:

Tabela 11- Equações ajustadas para aceleração longitudinal (RMS).

Pneu	Equação	R <sup>2</sup>
Diagonal	$AH_{RMS} = 0,021124^{**} + 0,0205663 * V$	0,4237
Radial	$AH_{RMS} = 0,025309^{**} + 0,025389 * V$	0,5126

\* e \*\* - Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste t.  $AH_{RMS}$  – Aceleração horizontal RMS ( $m s^{-2}$ ) e V – Velocidade de deslocamento ( $m s^{-1}$ ).

Fonte: Leite *et.al.* (2020).

Tabela 12- Equações ajustadas para aceleração vertical (RMS)

Pneu	Equação	R <sup>2</sup>
Diagonal	$AV_{RMS} = 0,03911 * + 0,069793 * V$	0,8078
Radial	$AV_{RMS} = 0,08417 * + 0,10848 * V$	0,8456

\* - Significativo ao nível de 1%, pelo teste t.  $AV_{RMS}$  – Aceleração vertical RMS ( $m s^{-2}$ ) e V – Velocidade de deslocamento ( $m s^{-1}$ ).

Fonte: Leite *et.al.* (2020).

Nas duas construções de pneus, (tabela 18) somente a velocidade foi significativa estatisticamente, onde verificou-se variação de 42% nos pneus diagonais e 51% para os radiais, a maior influência da velocidade foi constatada nos pneus radiais, onde foi verificado um aumento de  $0,025389 m/s^2$  para cada unidade de velocidade aumentada.

Na tabela 19, os valores alcançaram maior fidelidade no percentual de variação e foi demonstrado maior influencia da vibração novamente em maiores velocidades nos pneus radiais de  $0,10848 m/s^2$  por unidade de velocidade, esses valores são interpretados como maiores pelo autor devido a maior maleabilidade dos pneus radiais.

Conluiu-se ao final do ensaio que embora a vibração seja superior nos pneus radiais não houve diferença significativa estatisticamente. E que tanto nos pneus diagonais como radiais, as maiores amplitudes de vibração no sentido longitudinal são entre 0 e 2 Hz, já, as vibrações no

sentido vertical apresentaram maiores amplitudes entre a faixa 1,5 e 4,0 Hz.

Apesar dos ensaios relacionados não concluírem unanimidade sobre a influência desse fator na atividade vibratória, os valores falam por si. Isto abre ainda uma janela para que novos ensaios, em novas condições sejam realizados de maneira mais detalhada para estudar a influencia deste fator, visto que os tipos de pneus são usados principalmente em vista do melhor desempenho da máquina em determinadas operações e tipos de terrenos. Além disso outras variantes como o desgaste dos pneus utilizados podem influenciar do desempenho geral do trabalho como destacado por Jesuino (2007), assim como pode apresentar implicações diretas na emissão de vibrações.

#### 5.4 Uso de implementos agrícolas

Os implementos agrícolas promovem alterações significantes na configuração das operações mecanizadas no campo, isto porque alteram o peso do conjunto trator-implemento, aumentam a tração, níveis de patinagem e rotações do motor durante a operação, sendo logicamente natural que possamos compreender que é possível haver implicações diretas na atividade vibratória de um trator que opera descarregado e sem implemento, em relação aos níveis vibracionais com a utilização de implementos.

Baseado nessa possibilidade, retornamos ao ensaio realizado por Andrade *et. al.* (2016), que objetivou avaliar vibração e ruído em um trator com e sem implemento deslocando-se em três diferentes superfícies de rolamento. No ensaio em questão foi possível constatar que os ensaios realizados em pista de vibração padronizada, resultaram em valores característicos de condições insalubres, demonstrando a influência direta da superfície de rolamento na atividade vibratória, como um fator independente do uso do implemento testado.

Porém além disso, ao retornarmos à atenção para a tabela 15 (Valores da dose de vibração ( $m/s^{1,75}$ ) com e sem uso de implemento em três superfícies de rolamento diferentes.) Percebe-se que em todos os tratamentos, os valores de dose de vibração dos testes sem uso de implemento, foram mais altos em relação ao trator operando com implemento acoplado e diferindo estatisticamente de forma significativa, para os casos em que as superfícies de rolamento foram de solo mobilizado e pista de vibração. Com o trator operando sem implemento, houve aumento de  $0,73 m/s^{1,75}$  para solo mobilizado e  $0,96m/s^{1,75}$  para pista de vibração, no caso da pista de concreto ainda foi constatado aumento de  $0,07 m/s^{1,75}$  não havendo, no entanto, diferença significativa estatisticamente.

Na tabela 16, os valores de projeção de exposição diária seguem o mesmo comportamento, nas operações do trator sem implemento, houve aumento de  $0,079 m/s^2$  para

solo mobilizado e  $0,11 \text{ m/s}^2$  na pista de vibração. A pista em concreto apresentou acréscimo não significativo de  $0,011 \text{ m/s}^2$ .

Pode-se, portanto, perceber a influência na atividade vibratória do trator operando com um implemento e sem implemento.

A influência do uso de implementos não deve levar em conta somente o uso ou não de determinado equipamento e seus impactos na vibração do trator, mas estudar os diferentes tipos de operações e suas relações e influências nas atividades agrícolas, para tanto Santos *et. al.* (2019), realizou um experimento no qual buscou avaliar se ocorre amplificação ou atenuação das vibrações em cada eixo ortogonal, durante o uso de 5 conjuntos trator-implementos para a atividade de preparo do solo, sendo eles: trator-arado de disco, trator-arado de aiveca, trator-grade off-set, trator-enxada rotativa, trator-escarificador. O trator 4x2 TDA, foi equipado com acelerômetro triaxial com sensor fixado no assento com fita adesiva.

Os parâmetros analisados estão de acordo com as especificações da NHO 09 e consistiram dos valores de aceleração média resultante normalizada (aren) e do valor de dose de vibração resultante (VDVR).

Na tentativa de não analisar apenas a vibração incidente no trator, mas no conjunto total a ser utilizado, foi desenvolvido o índice IAVEA- Índice de amplitude de vibração incidente no operador de trator com equipamento acoplado, traduzido na seguinte equação:

$$IAVEA = \frac{VDV_{eq}}{VDV_t} \times 100$$

Onde:

VDV<sub>eq</sub>- Valor de dose de vibração nos eixos x.y e z no assento, com implemento acoplado ao trator agrícola.

VDV<sub>t</sub>- Valor de dose de vibração nos eixos x.y e z no assento, sem implemento acoplado ao trator agrícola.

Tabela 13- Valores de aceleração resultante normalizada e valor de dose de vibração resultante para trator operando sem implemento e com 5 conjuntos diferentes com velocidade de deslocamento de 6,1 km.

Fontes de variação	aren (m/s <sup>2</sup> )	VDVR (m/s <sup>1,75</sup> )
Trator (Controle T)	0.485 <sup>d</sup>	9.042 <sup>d</sup>
Conjunto trator- arado de aiveca	0.664 <sup>c</sup>	12.676 <sup>c</sup>
Conjunto trator- arado de disco	1.11 <sup>a</sup>	21.203 <sup>a</sup>
Conjunto trator-escarificador	0.743 <sup>bc</sup>	14.194 <sup>bc</sup>
Conjunto trator- grade off-set	0.998 <sup>a</sup>	19.026 <sup>a</sup>
Conjunto trator-enxada rotativa	0.858 <sup>b</sup>	16.388 <sup>c</sup>
Teste F	aren (m/s <sup>2</sup> )	VDVR (m/s <sup>1,75</sup> )
Tratamentos F	56.4735**	59.1231**
F-Crit	38.951	38.951
CV(%)	9.19	7.51
Desv. Pad.	0.116	2.225
Anderson - Darling Teste	aren (m/s <sup>2</sup> )	VDVR (m/s <sup>1,75</sup> )
Valor Obtido	0.42532	0.44544
V. Crit	0.71186	0.71186
Normal	Sim	Sim

Legenda: Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

\* Significativo pelo teste F na probabilidade de 5% nível. \*\* Significativo pelo teste F ao nível de probabilidade de 1%. ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

DMS: mínimo diferença significante. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Adaptado de Santos *et. al.*, 2019.

Foi possível observar que com velocidade de deslocamento do trator de 6,1 km.h<sup>-1</sup>, somente quando nenhum equipamento foi acoplado, a condição aceitável foi alcançada. Os conjuntos de trator- arado de aiveca, trator-escarificador e trator- enxada rotativa superaram a os valores do nível de ação e medidas preventivas são obrigatórias para diminuir o grau de exposição do operador. O conjunto trator-arado de disco mostrou valores de aren na faixa de 0,9 a 1,1 m.s<sup>2</sup> e VDVR na faixa de 16,4 a 21 m.s<sup>-1,75</sup> atingindo a região de incerteza.

O ensaio concluiu que todos os conjuntos utilizados, aumentaram a incidência de vibrações sobre o operador. O conjunto trator-arado de discos revelou os maiores índices de vibração, sendo o de maior potencial de danos à saúde, enquanto o conjunto trator-arado de aiveca foi o que apresentou menor aumento vibracional.

Singh *et. al.*, 2020 chega a resultados parecidos ao usar um conjunto trator- arado para a análise de conforto médio do operador baseando-se em três pontos (piso, assento e encosto traseiro) de um trator, durante o preparo de um cultivo de arroz, utilizando 3

velocidades de operação, 3 forças de tração e 3 profundidades de trabalhos distintas, a análise de variância revelou números considerados como condições desconfortáveis a bastante desconfortáveis para a execução do trabalho, corroborando que o aumento da atividade vibratória é considerável durante as operações com uso de implementos de preparo do solo.

## 5.5 Pressão interna de ar nos pneus

A agricultura de precisão leva cada vez mais em conta a multiplicidade de fatores e suas interrelações, na determinação de condições ideais que resultem no aumento da produtividade e na diminuição dos desperdícios. A tecnologia no uso de tratores e implementos tem evoluído nesse sentido. Fatores como conforto e segurança influenciam diretamente no rendimento de um operador de tratores agrícolas, portanto, não é suficiente ter a máquina mais potente, com os implementos mais rápidos e deixar a desejar nos fatores ergonômicos dos postos de trabalho. Ribas *et.al.* (2012), afirmava em seu trabalho que o mercado consumidor de tratores no Brasil era composto por muitos pequenos produtores, que ainda não estavam preparados para pagar por tecnologias capazes de reduzir condições nocivas que pudessem vir a incidir no corpo dos operadores e que, diante disso, restringiam-se a análise objetiva dos fatores que influenciavam a incidência de agentes nocivos, para então tentar remediá-los, ou os prevenir.

Os trabalhos realizados de maneira objetiva, com o acompanhamento de valores e a relação de fatores como uso de implementos, velocidade, tipos de pneus e demais configurações são a maneira mais rápida e de menor custo para obter resultados satisfatórios na diminuição de incidência de vibração no operador (RIBAS *et.al.* 2012).

Hoje a realidade do campo vem mudando, assim como as tecnologias que já incorporam configurações múltiplas e flexíveis, bem como o acesso a equipamentos adaptáveis tende a ser mais fácil. Em paralelo, os ensaios que exploram a heterogeneidade de fatores objetivos, presentes nos ambientes de trabalho, também evoluem de modo a abranger condições cada vez mais específicas. É o que se observa no trabalho de Zheng *et. al.* (2019) no qual se relacionam respostas vibratórias ao uso de suspensão hidropneumática, associada a suspensão passiva da cabine, sob diferentes ajustes de configurações do fabricante, diferentes velocidades e diferentes superfícies de rolamento, levando em conta modelos tridimensionais e equações de linearidade e amortecimento.

Mesmo com as melhorias em suspensões e assentos ergonômicos, que ajudaram na redução dos níveis de ruído e vibração, é necessário aprofundar os estudos nessas áreas para

constatar se as melhorias são eficazes quando comparadas às condições de trabalho a quais são expostos os operadores. (FORASTIERE *et. al.*, 2016).

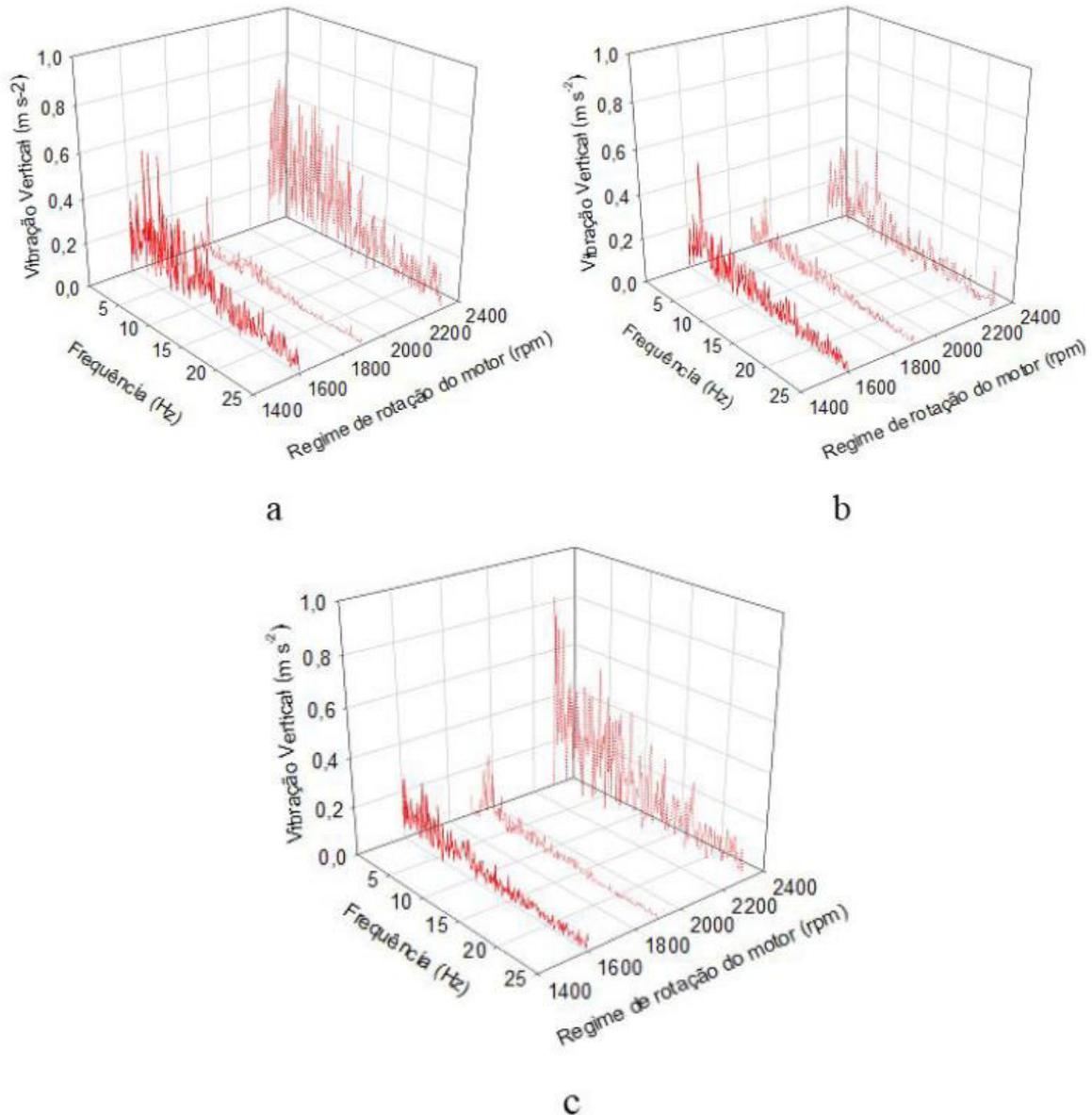
Os pneus são os elementos primários na absorção de impacto e amortecimento de vibrações, a transmissão destes vai somar-se a vibração de rotação do motor para resultante que incide no operador, a pressão interna de insuflagem altera suas propriedades dimensionais, como a largura do pneu, seus raios e deflexão, assim como sua área de contato e nível de capacidade de compactação e tração no solo. Sendo assim as pressões internas de um trator podem atuar na influência da atividade vibratória.

Neste sentido Forastiere *et. al.* (2016), elaborou um experimento de campo, onde avaliou os níveis de ruído, vibração, consumo e patinamento de um conjunto trator-escarificador, operando em diferentes rotações do motor e em diferentes pressões internas dos pneus. A vibração longitudinal e vertical do posto de operação, foram aferidas por dois acelerômetros uniaxiais instalados perpendicularmente entre si, embaixo do assento do operador.

O trator utilizado foi de fabricação John Deere, 4 x 2 (TDA). Para obtenção dos dados de consumo de combustível, patinagem, ruído e vibração foi utilizado um sistema de aquisição de dados.

Os níveis de aceleração na base do posto de operação foram representados por meio do valor da aceleração média quadrática (Root Mean Square – RMS) gerada na orientação paralela e na perpendicular ao plano de apoio do trator. Posteriormente foi realizada uma análise do espectro de frequências, com intuito de verificar o comportamento das vibrações verticais e longitudinais na base do posto de operação, de acordo com cada faixa de frequência. Os espectros de frequência demonstraram a seguinte leitura:

Gráfico 19- Espectro de frequência para vibração vertical na base do assento de acordo com as diferentes rotações do motor e as três pressões internas adotadas: 83 kPa (a), 103 kPa (b) e 124 kPa (c).



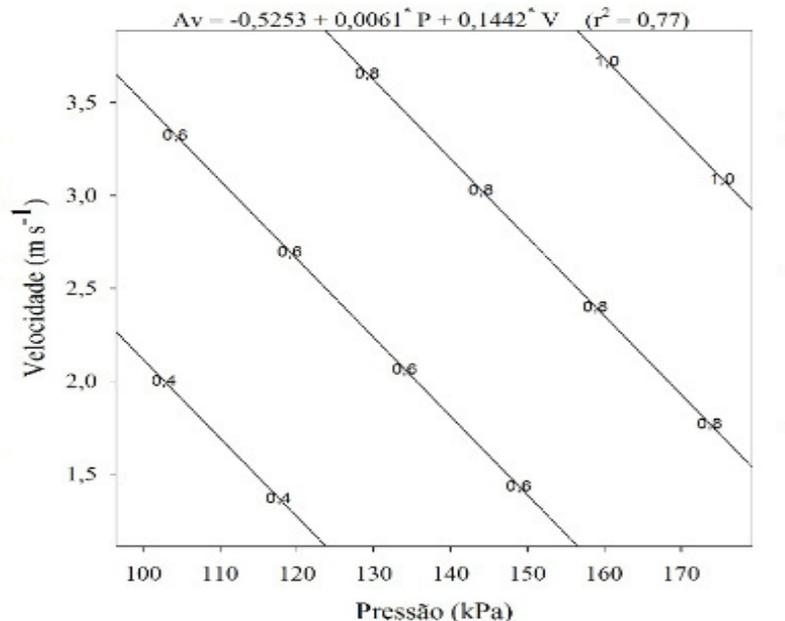
Fonte: Forastiere (2016).

A pressão interna dos pneus e a rotação do motor não surtiram efeito significativo na vibração longitudinal, o autor atribuiu esse resultado ao fato dessa variável apresentar sentido paralelo ao sentido de direção do conjunto trator-escarificador, sendo assim, os impactos eram mais facilmente absorvidos pelas rodas motrizes. Apesar de haver diferenças visíveis no gráfico acima, entre as vibrações observadas nos pneus de menor pressão interna (a) e maior pressão interna (c), o autor concluiu não haver diferença significativa para caracterizar a pressão interna como um fator influente, ao contrário do que foi constatado com a rotação do motor que se mostrou o fator mais influente no aumento da leitura de vibração vertical.

A conclusão do ensaio denota que, para aquelas condições específicas, não foi considerada influência significativa da pressão interna, nos níveis vibracionais.

Já o estudo de Da Silva *et. al.* (2017) constatou o contrário. O experimento conduzido, consistia em determinar os níveis de vibração e de ruído na base do posto de operação, de um trator agrícola, em função da pressão de insuflação dos pneus e da velocidade operacional. Os tratamentos foram constituídos da combinação de três pressões de insuflação dos pneus e três velocidades operacionais. Foi utilizado trator de fabricação John Deere, modelo 5705, de potência de 62,56 kW no motor (o mesmo do ensaio anterior). Os pneus diagonais utilizados foram os mesmos do ensaio de Forastiere (2016). Os acelerômetros uniaxiais foram instalados na base do posto de assento do operador, perpendiculares um ao outro. Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão e os modelos selecionados com base na significância dos coeficientes da regressão, utilizando o teste t, e no coeficiente de determinação ( $r^2$ ) mostrado no gráfico a seguir:

Gráfico 20- Vibração ( $A_v$ ) em função da pressão de insuflação dos pneus ( $P$ ) e da velocidade do trator ( $V$ ), equação ajustada e coeficiente de determinação ( $r^2$ ). \* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.



Fonte: Da Silva, *et. al.* 2017.

Ao substituir os valores de pressão e velocidades testados na equação ajustada, conclui-se que a pressão interna dos pneus e a velocidade, influenciaram os valores de vibração testados e que a vibração superou os limites de exposição de  $0,50 \text{ m/s}^2$  estabelecidos pela diretiva europeia 2002/44/ CE utilizada como referência para o trabalho.

A pressão interna altera os índices de vibração, pois em maiores pressões a capacidade de amortecimento durante o tráfego é reduzida ocasionando maiores solavancos e vibrações (DA SILVA *et. al.* 2017).

Quanto maior a superfície de contato do pneu com o solo, mais dissipam energia oriunda da oscilação do movimento, a redução de deflexão do pneu por aumento de inflação ocasiona a perda do amortecimento (ADAMS *et.al.*, 2004)

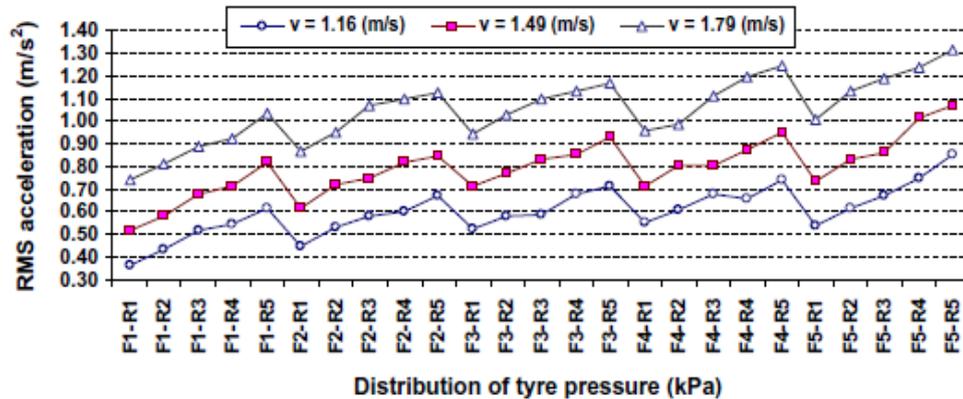
O ensaio de Cuong, Zhu e Zhu (2013) também avaliou a influência da pressão interna de ar dos pneus em campos de arroz na China, em uma pista de 70 metros de comprimento. A aceleração vertical foi medida nos eixos traseiros e dianteiros do trator além de medição triaxial do corpo do trator, o trator, 4x2, TDA, que executou um trajeto em linha reta por um total de 90 tratamentos: sendo setenta e cinco (75) tratamentos com três velocidades de avanço de 1,16, 1,49 e 1,79 m/s, durante os quais a pressão dos pneus foi alterada de 90 para 210 kPa no pneu dianteiro e de 60 a 180 kPa no pneu traseiro; 15 tratamentos à velocidade de 1,43 m/s nos quais a pressão dos pneus foi alterada de 90 para 210 kPa no pneu dianteiro e de 60 para 180 kPa no pneu traseiro, foram usados os valores de aceleração RMS. As combinações de inflações e velocidades podem ser verificadas no quadro abaixo:

Quadro 8-Distribuição de pressões utilizadas nos pneus dianteiros e trasesiros.

<u>Pneus Dianteiros</u>	<u>Pneus Traseiros</u>
F1 Pneus dianteiros com pressão interna de 90 Kpa	R1 Pneus traseiros com pressão interna de 60 Kpa
F2 Pneus dianteiros com pressão interna de 120 Kpa	R2 Pneus traseiros com pressão interna de 90 Kpa
F3 Pneus dianteiros com pressão interna de 150 Kpa	R3 Pneus traseiros com pressão interna de 120 Kpa
F4 Pneus dianteiros com pressão interna de 180 Kpa	R4 Pneus traseiros com pressão interna de 150 Kpa
F5 Pneus dianteiros com pressão interna de 210 Kpa	R5 Pneus traseiros com pressão interna de 180 Kpa

Fonte: Adaptado de Cuong, Zhu e Zhu (2013).

Gráfico 21- Variação da aceleração RMS no trator com diferente configurações de pressão interna.



Fonte: Cuong, Zhu e Zhu (2013).

Nota-se um comportamento crescente quando a relação de pressão de inflação dianteira e traseira são maiores, sendo a vibração acentuada também em virtude da velocidade de deslocamento de maneira diretamente proporcional.

Os valores de aceleração RMS no eixo dianteiro e traseiro e no corpo do trator foram significativamente diminuídos pela diminuição da velocidade de deslocamento e da pressão de inflação dos pneus, ao trabalhar com duas condições diferentes de umidade do solo do campo. A maioria dos picos de aceleração foram observados na frente, eixo traseiro e corpo do trator, quando a pressão de enchimento do pneu traseiro era de 180 kPa.

A magnitude de vibração do eixo dianteiro, traseiro e corpo do trator dependiam muito da velocidade do trator, bem como da pressão de enchimento dos pneus, especialmente a pressão dos pneus traseiros. O impacto da redução da inflação do pneu dianteiro foi significativa em relação à redução da magnitude da vibração do trator, mas a redução teve menos impacto quando o trator foi trabalhado na parcela do campo com alto teor de umidade. Então, a redução da pressão de inflação do pneu dianteiro, a fim de reduzir a vibração do trator não foi considerada viável.

Embora parte da energia de vibração do trator tenha sido dissipada pela interação rodado-solo, o nível de vibração do corpo do trator ainda estava muito alto, por causa da alta vibração transmitida pelo eixo dianteiro e traseiro.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observamos, para o fator velocidade de operação, em todos os ensaios, uma relação diretamente proporcional ao nível de vibração emitido ao operador. A pesquisa de Sandi (2018), concluiu que as maiores velocidades geraram as piores condições de trabalho em todos os parâmetros avaliados com exceção da aceleração mínima resultante, Santos Filho (2003) detectou maior leitura espectral de vibração na terceira marcha de operação, apesar do assento ergonômico funcionar como atenuante. Vilibor (2014) também encontrou na análise espectral o maior índice de vibração relacionado a maiores velocidades mesmo com o uso de tração dianteira.

Para o fator de superfície do solo, Andrade *et. al.* (2016) verificou que os níveis de vibração foram mais elevados nos ensaios da pista de vibração denotando possível associação da uniformidade da pista com a atividade vibratória. Santos (2016) relatou a tendência a diminuição da atividade vibratória em função da presença de cobertura de solo, utilizando capim Mombaça. Barač *et.al.* (2016) concluiu em seu estudo que a vibração foi encontrada em valores menores na superfície asfáltica, mais uniforme, em relação ao solo gramado.

Os resultados revelam a importância da análise individualizada de um conjunto de condições de solo para orientação da melhor tomada de decisão.

Na variável tipos de pneus, Ribas *et.al.* (2012) encontrou valores crescentes de vibração nas maiores pressões internas utilizadas em ambos os tipos de pneus. Embora o pneu radial tenha apresentado maior vibração em todas as velocidades não houve diferença estatística significativa. Leite *et.al.* (2020) encontrou resultados semelhantes, porém apenas a velocidade diferiu significativamente, demonstrando que apesar de haver diferenças entre os níveis de vibração em pneus radiais e diagonais, tal diferença está condicionada a outros fatores para que se configure uma condição insalubre.

No uso de implementos agrícolas encontrou-se a maior variação de conclusões nos ensaios destacados. Andrade *et. al.* (2016) verificou valores mais amenos de dose de vibração no trator operando com implemento(distribuidor de fertilizantes a lanço). No trabalho de Santos *et. al.* (2019) Onde foram avaliados 5 conjuntos de implementos de preparo de solo, constatou-se que uma condição aceitável só foi alcançada com o trator operando sem nenhum equipamento, sendo que os demais conjuntos apresentaram índices elevados de vibração, o maior verificado no arado de discos.

Singh *et. al.* (2020) chegou a resultados na avaliação de um conjunto trator- arado

encontrando condições desconfortáveis em todos os tratamentos, enfatizando a tendência ao aumento da vibração com o uso de implementos de preparo de solo.

Para a pressão interna de ar dos pneus, o ensaio de Da Silva *et. al.*(2017) corroborou com os resultados de Ribas *et.al.* (2012), constatando relação direta entre o aumento da pressão interna dos pneus e o aumento da atividade vibratória. Cuong, Zhu e Zhu (2013), foi além investigando a variação de pressão nos eixos traseiro e dianteiro de um trator, concluindo que, quanto maior a relação entre os pneus dianteiros e traseiros, maior a atividade vibratória. Apenas para as condições específicas do trabalho de Forastiere *et.al.* (2016) não foram encontradas diferenças significativas para as diferentes pressões utilizadas.

O que ficou evidente no presente trabalho é que, a despeito dos fatores abordados, embora se possa observar uma tendência natural de uma influência fixa nos níveis vibratórios, uma condição ambiental, ou uma particularidade técnica, pode acarretar um efeito contrário ou pouco significativo nas condições de trabalho. Isso mostra a importância da análise prévia, assim como chama atenção para o espaço enorme para pesquisas futuras neste campo do conhecimento, que tem tantas variáveis quanto o nosso rico país a serem investigadas e somadas ao conhecimento preventcionista, que é de extrema importância. Não apenas aos estudiosos da área, mas a todos aqueles que são expostos a ação desse agente durante sua rotina de trabalho é preciso que preventcionistas, pesquisadores, professores e profissionais realizem um esforço conjunto no intuito de realizar a integração dos estudos com as atividades agrícolas, assim como conscientizar todos que de alguma forma se relacionam com essas atividades.

## REFERÊNCIAS

- ADAM, S.A. *et. al.* The effect of posture and vibration magnitude on the vertical vibration transmissibility of tractor suspension system. **International Journal of Industrial Ergonomics**. v. 80, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814119305396>
- ALVES, C. T. A revolução verde na mesoregião noroeste do RS (1930 - 1970). Dissertação (Dissertação em História) – Universidade de Passo Fundo. Rio Grande do Sul, p.174. 2013.
- AMATO NETO, J. A indústria de máquinas agrícolas no Brasil: origens e evolução. **Rev. adm. empres.**, São Paulo , v. 25, n. 3, p. 57-69, Setembro. 1985 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S003475901985000300005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003475901985000300005&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 18/08/2020. <https://doi.org/10.1590/S0034-75901985000300005>.
- AMORIM, L. Doenças ocupacionais. Bahia: Instituto Formação, 2014. Disponível em: <http://www.ifcursos.com.br/sistema/admin/arquivos/09-35-19-m0dul0d0encas0cupaci0nais.pdf>
- ANDRADE, P. A. M. *et. al.* Vibração e ruído em um trator agrícola submetido a diferentes superfícies de rolamento. p. 762-771 . In: **1º Congresso Internacional de Ergonomia Aplicada [Blucher Engineering Proceedings, v.3 n.3]**. São Paulo: Blucher, 2016.
- ANDRADES, T. O; GANIMI, R. N. Revolução Verde e apropriação capitalista. In: FAGUNDES *et al.* (Ed.). Revolução Verde, Agricultura e Capitalismo – O Livro Cinza do Pacote Tecnológico do Agronegócio. Paraná: UFPR, 2010.
- BALBINOT, A. Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: Um enfoque no conforto e na saúde. Tese (Doutorado em Biomecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- BARAČ, Ž. *et.al.* Produced tractor vibration levels at various agrotechnical surfaces that affect the body of an operator. **Proceedings & abstract of the 9th International Scientific/Professional Conference Agriculture in Nature and Environment Protection**, Vukovar, Croatia, pp 82 - 85. 2016.
- BITENCOURT, C. L.; QUELHAS, O.L.G. Histórico da evolução dos conceitos de segurança. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XVIII**, 1998, Niterói, **Anais**, Universidade Federal Fluminense. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998\\_ART369.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998_ART369.pdf)
- BRASIL. Leis, decretos, etc. – Portaria n° 3214, de 08 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras - NR – do capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho, 1978.
- BRASIL. Leis, decretos, etc. – Portaria n.º 3.237 de 27 de julho de 1972, do Sr. Ministro de Estado do Trabalho e Previdência Social. Diário Oficial, 2/14 ago. 1972.

BRASIL. Organização Panamericana da Saúde. Ministério da Saúde (Org.). Doenças relacionadas ao trabalho: Manual de procedimentos para os serviços de saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2001.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Lista de doenças relacionadas com o trabalho. Disponível em:  
<[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas\\_relacionadas\\_trabalho\\_2ed\\_p1.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas_relacionadas_trabalho_2ed_p1.pdf)>  
acesso em: 04/02/2021. 2008.

BRASIL. Ministério do trabalho e emprego. **Norma regulamentadora NR 9: Programa de prevenção de riscos ambientais**, 2014.

BRASIL. Ministério do trabalho e emprego. **Norma regulamentadora NR 15: atividades e operações isalubres**, 2014.

BRASIL. Ministério do trabalho e emprego. **Norma regulamentadora NR 15: atividades e operações isalubres**, anexo 8, 2014.

BRASIL. Ministério do trabalho e emprego. **Norma regulamentadora NR 31: Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura**, 2014.

BRASIL TEM O MAIOR NUMERO DE FATALIDADES COM TRATORES E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS NO CAMPO. **Canalrural**, 2012. Disponível em:  
<<https://www.canalrural.com.br/noticias/brasil-tem-maior-numero-fatalidades-com-tratores-implemmentos-agricolas-campo-33494/>> Acesso em: 16/08/2020

CARPANEZZI, L. *et al.* História e Evolução da Mecanização. **Revista Científica Eletrônica Agronomia**, Garça, v. 1, n. 25, p.45-51, ago. 2018. Disponível em:  
<[http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/CxbNYOvf8fSKep0\\_2018-1-25-14-45-46.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/CxbNYOvf8fSKep0_2018-1-25-14-45-46.pdf)>. Acesso em: 18/08/2020

CARVALHO, F. B. Estudo de Vibração Ocupacional de Corpo Inteiro em Pedreiras na Região Metropolitana de São Paulo. Dissertação (Dissertação em Engenharia de Minas e Petróleo) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.

CONWAY, G. *The Doubly Green Revolution: Food for All in the Twenty-First Century*. Cornell University Press, Ithaca, 1998.

CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; SOUZA, C. M. A. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. **IDESIA**. Tarapacá, Chile, v. 30, n. 1, p. 25-34, 2012.

CUONG, D.M.; ZHU, S.; ZHU, Y. Effects of tyre inflation pressure and forward speed on vibration of an unsuspended tractor. **Journal of Terramechanics**, Newcastle, v.50, p.185-198, 2013.

DA SILVA, A. C. *et. al.* Ruído e vibração no posto de operação de um trator agrícola em função da pressão dos pneus e velocidade operacional.. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [S. l.], v. 25, n. 5, p. 454-458, 2017. Disponível em:  
<https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/752>. Acesso em: 27 jul. 2021.

FERREIRA, C. V., SCARPIM, A. C. Vibrações ocupacionais: uma revisão da literatura. **Revista Ciência & Saberes-Facema**, v. 1, n. 1, p. 70-74, 2015.

FONSECA, M. G. D. Concorrência e progresso técnico na indústria de máquinas para a agricultura: um estudo sobre trajetórias tecnológicas. Campinas. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia. Campinas, 1990.

FORASTIERE, P. R. *et al.* Caracterização das vibrações mecânicas no e ruído no posto de operação no trator agrícola modificado "Transformax". **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, 24(4), p.291-301, 2016. <https://doi.org/10.13083/reveng.v24i4.684>

FUNDACENTRO. Norma de Higiene Ocupacional NHO 09: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico. São Paulo-SP: Fundacentro, 2013.

GASQUES, J. G. *et al.* Produtividade na agricultura brasileira: a hipótese da desaceleração. In VIEIRA-FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Org.). Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade. Brasília: Ipea, 2016. 143-161p.

GRIFFIN, M. J. Vibration injuries of hand and arm: their occurrence and the evolution of standards and limits, Health & Safety Executive, London, 1980.

HALIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. Fundamentos da Física, Volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. Tradução e revisão técnica: Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HARRIS, C. M.; PIERSON, A. G.; ALLAN, G., Harris Shock Vibration Handbook. Mc Graw Hill, 2002.

HENRIQUES, F. S. A revolução verde e a biologia molecular. **Rev. de Ciência Agrárias** v.32 n.2. Lisboa dez. 2009. 245-254 p. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v32n2/v32n2a22.pdf>>. Acesso em: 20/08/2020

IIDA, I, Ergonomia: Projeto e Produção. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

IIDA, I; GUIMARÃES, L. B. M. Ergonomia: projeto e produção. 3. ed. rev. São Paulo: Edgard. Blücher, 2016.

ISO. International Organization Standardization. Human response to vibration- Measuring Instrumentation, ISO 8041, Genebra, 2005.

ISO. International Organization Standardization. Human exposure to mechanical vibration and shock, ISO 2631-1, Genebra, 1997.

ISO. International Organization Standardization. Guide for evaluation of human exposure to whole-body vibration, ISO 5439, Genebra, 1997.

JESUINO, P. R. Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo. 2007. x, 64 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2007. Disponível em:

<<http://hdl.handle.net/11449/90646>>.

KÖRBES, D. *et al.* Alterações no sistema vestibulococlear decorrentes da exposição ao agrotóxico: revisão de literatura. *Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, v.15, n.1, p. 146-152, 2010.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia: Adaptando o Trabalho ao Homem**. 5ª Ed. Artmed Editora. Porto Alegre. 2005. 327 p.

LAURELL, A. C.; NORIEGA, M. *Processo de Produção e Saúde: Trabalho e Desgaste Operário*. São Paulo: Ed. Hucitec, 1989.

LAZZARI, F. M.; SOUZA, A. S. Revolução Verde: impactos sobre os conhecimentos tradicionais. *In: CONGRESSO NACIONAL DE DIREITO E CONTEMPORANEIDADE*, nº 4, 2017, Santa Maria, RS, novembro, p. 1-16 anais (on-line). Disponível em: < <http://coral.ufsm.br/congressodireito/anais/2017/4-3.pdf>>

LEITE, D. M., *et al.* Caracterização das vibrações do posto de operação de um trator agrícola em condição de tração/ Characterization of the vibrations of the operation station of an agricultural tractor under traction. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v. 3, n. 4, out./dez. 2020.

MAZOYER, M. ; ROUDART, L. *História das agriculturas no mundo: do neolítico ao contemporâneo*. São Paulo: Editora UNESP, 2009.

MEDEIROS, F. E. *Riscos ocupacionais na agricultura brasileira*. Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/4379>

MEHTA, C. R. *et al.* Ride vibration on tractor-implement system. **Applied Ergonomics**, Oxford.v. 31, p. 323-328, 2000.

MENDES, R.; DIAS, E. C. Saúde dos trabalhadores. *In: ROUQUAYROL M. Z.; ALMEIDA FILHO, N. (Eds.). Epidemiologia & Saúde*. 5.ed. Rio de Janeiro: Medsi, p. 431-456 1999.

MENEZES, A.T. *et al.* Segurança no trabalho rural e conhecimento das NR por futuros profissionais de ciências agrárias. em: **Anais do VI Congresso Latino Americano, X Congresso Brasileiro e V Seminário do DF e entorno**, v. 13, nº 1, Jul. 2018. Disponível em: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/issue/view/1>

MORAES, A.L., SILVA, C.M., MORAES, J.A.R, NARA E.O.B e HONNENMACHER H. Avaliação ergonômica das vibrações na atividade do operador de empilhadeiras em uma indústria fumageira. *In: XIII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 2006*.

MORAES, G. F. S. *et al.* Whole-body vibration and musculoskeletal diseases in professional truck drivers. **Fisioter. mov.**, Curitiba , v. 29, n. 1, p. 159-172, Mar. 2016 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010351502016000100159&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010351502016000100159&lng=en&nrm=iso)>. acesso em 04/03/2021. <https://doi.org/10.1590/0103-5150.029.001.AR01>.

MOREIRA, J.P.L *et al.* A saúde dos trabalhadores da atividade rural no Brasil. . **Cad. Saúde Pública** [online]. ago. 2015, vol.31, n.8, p.1698-1708. Rio de Janeiro. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00105114>

NEVES, E. M. A pressão da demanda por alimentos: Malthus tinha razão? **Revista Visão Agrícola** n.8, p.130-133, jun. 2008. Disponível em: <  
<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA08-mercado07.pdf>> Acesso em: 25/08/20.

PALMER, K. T. *et al.* “Prevalence and Pattern of Occupational Exposure to Whole Body Vibration in Great Britain: Findings from a National Survey.” *Occupational and Environmental Medicine*, v. 57, n. 4, Southampton, UK, 2000, p. 229–236. Disponível em: <[www.jstor.org/stable/27731293](http://www.jstor.org/stable/27731293)>. Acesso em 27 de agosto de 2020.

PARAIYL, G. Mapping technological trajectories of the Green Revolution and the Gene Revolution from modernization to globalization. **Rev. Elsevier Research Policy**, Singapura, v. 32, p. 971-990, Agosto. 2003. Disponível em: <  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733302001063>> Acesso em: 22/08/2020.

PRIORI, A. *et al.* História do Paraná: séculos XIX e XX [online]. Maringá: Eduem, 2012. A modernização do campo e o êxodo rural. p. 115-127. Disponível em: <  
<http://books.scielo.org/id/k4vrh/pdf/priori-9788576285878-10.pdf>> Acesso em: 26 de ago. de 2020.

RADOLL, G.F.P. Segurança agrícola rural. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná, 2012.

RAO, S. S. Vibrações Mecânicas. 4 ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2009.

REIS, A. V. D. ; MACHADO, A. L. T. Acidentes com máquinas agrícolas: texto de referência para técnicos e extensionistas. Pelotas: Ed. Universitária UFPEL, 2009.

RIBAS, R. *et.al.* Exposição humana à vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola com pneus radiais. **Cienc. Rural**, v.44, n.9, 2012. doi: 10.1590/0103-8478cr20130130

SALIBA, T. M. Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração. 3ª ed. São Paulo: LTR, 2014.

SANDI, J. Avaliação da vibração incidente sobre o operador de trator agrícola em pista de ensaio padronizada, em pista de concreto e em condições de campo. Botucatu, 2018. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2018.

SANDI, J. *et.al.* Vibração ocorrente sobre o corpo inteiro do operador de trator agrícola em ensaio padronizado. **Revista de Agricultura Neotropical**. Cassilândia-MS, v. 5, n. 2, p. 54-60, abr./jun. 2018.

SANTOS, D. *et. al.* Parâmetros ergonômicos e operacionais de um conjunto trator-escarificador em função da rotação do motor e pressão interna dos pneus. **Revista de Ciências Agrárias** - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 59. 401-408. 2016.

SANTOS FILHO, P. F. *et al.* Avaliação dos níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 6, p. 887-895, 2003.

SANTOS, V. C. Vibração ocupacional em trator 4x2 tda em função da pressão interna dos pneus e da superfície de rolamento. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza-CE, 2016.

SANTOS, V. C. *et al.* Whole body vibration in operators using agricultural soil preparation equipment. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 49, n. 11, e20190109, 2019. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010384782019001100351&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010384782019001100351&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 19/03/2021. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20190109>

SCARLETT, A. J.; PRICE, J. S.; STAYNER, R. M. Whole body vibration: evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. **Journal of Terramechanics, Oxford**, v. 44, n. 1, p. 65-73, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022489806000085>>.

SCHUTZER, V. M., SANTOS, J. E. G., PONTES JUNIOR, B. R. Aspectos ergonômicos e avaliação da vibração nos membros superiores nos operadores de motocultivador. *In: 1º Congresso Internacional de Ergonomia Aplicada [=Blucher Engineering Proceedings, v.3, n.3]*. p. 723-733. São Paulo: Blucher, 2016.

SCOPINHO, R. A. *et al.* Novas tecnologias e saúde do trabalhador: a mecanização do corte da cana de açúcar. **Cad. Saúde Pública** [online]. 1999, v.15, n.1, p.147-162. ISSN 1678-4464. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1999000100015>.

SENA, T. R. R., DOURADO, S. S. F., ANTONIOLLI, A. R. Audição em altas frequências em trabalhadores rurais expostos a agrotóxicos. **Ciênc. saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 10, p. 3923-3932, outubro. 2019. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141381232019001003923&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141381232019001003923&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 23 set. 2020.

SILVA, C.B. *et al.* Avaliação ergonômica de uma colhedora de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras –MG, v.35, n.1, p.179-185, 2011.

SILVA, L. F., MENDES, R. Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 9-17, janeiro, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-89102005000100002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102005000100002&lng=en&nrm=iso)>. access on 04 Mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102005000100002>.

SILVEIRA, J.W.P.; PILATTI, L.A.; LAAT, E. F. Efeitos da vibração no corpo humano. **II Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, Ponta Grossa, 2012. disponível em: <<http://anteriores.aprepro.org.br/combrep/2012/anais/artigos/erg/16.pdf>> acesso em 04/03/2021.

SINGH, A. *et. al* Chapter 10 - Investigation into the occupational ride comfort due to exposure of whole body vibration. **Smart Healthcare for Disease Diagnosis and Prevention**, Academic Press, 2020, p. 81-88. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128179130000109>

SOBRAL, G. R. A Evolução da Indústria de Tratores Agrícolas no Brasil: estrutura de mercado e competitividade no período 1994-2008. Monografia (Monografia em Ciências Econômicas) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 60 p. 2010.

USP. Universidade de São Paulo. Apostila de Higiene Ocupacional Eho-002, Capítulo 3- Vibrações, São Paulo, 2017.

VENDRAME, A. C. Vibração ocupacional. 2006. Disponível em < <https://docplayer.com.br/10099030-Vibracoes-ocupacionais-antonio-carlos-vendrame-um-pouco-de-historia.html> > Acesso em 19/02/2021.

VIAN, F. E. C. *et al*. Origens, Evolução e Tendências da Indústria de Máquinas Agrícolas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Piracicaba- SP, v. 51, n. 4, outubro-dezembro, 2013. 719-744 p.

VIEIRA-FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Org.). Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade. Brasília: Ipea, 2016.

VILLIBOR, G. P. *et.al*. Vibration levels on rear and front axles of a tractor in agricultural operations. **Acta Scientiarum. Technology**, v.36, n.1, 2014. p. 7-14. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v36i1.18170>

WILDER, D.G., POPE, M. H. Epidemiological and aetiological aspects of low back pain in vibration environments—an update, *Clinical Biomechanics*, v.11, n2, 1996, p. 61-73.

XIMENES, G. M. Gestão ocupacional da vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança. 2006. 150p. Dissertação (mestrado) –Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

ZANATTA, M., AMARAL, F. G., GIACOMELLO, C. P. Exposure of agricultural pilots to occupational whole-body vibration: The effects of runway maintenance and the stages of flight. **International Journal of Industrial Ergonomics**. v. 81, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016981412030665X>

ZANATTA, M., AMARAL, F.G., VIDOR, G. The role of whole-body vibration in back pain: A cross-sectional study with agricultural pilots. **International Journal of Industrial Ergonomics**.v. 74, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016981411830324X>

ZEHSAN, M.; SADEGHI, M.H.; ETTEFAGH, M.M.; SHAMS, F. Tractor cabin’s passive suspension parameters optimization via experimental and numerical methods. **Journal of Terramechanics**, Amsterdã, 2011. 48, 439–450.

ZHENG, E., *et.al*. Investigation into the vibration characteristics of agricultural wheeled tractor-implement system with hydro-pneumatic suspension on the front axle. **Biosystems**

**Engineering.** v. 186, 2019, p. 14-33, disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511018311528>>

2002/44/EC. DIRETIVA 2002/44/EC DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 25 de junho de 2002 relativa as prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes a exposição dos trabalhadores aos riscos devido aos agentes físicos (vibrações), 2002.