

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO NO OPERADOR DE UM
TRATOR AGRÍCOLA ENSAIADO EM PISTA NORMATIZADA EM
DIFERENTES VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO**

GUILHERME APARECIDO GOMES DE MORAES

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Dezembro - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO NO OPERADOR DE UM
TRATOR AGRÍCOLA ENSAIADO EM PISTA NORMATIZADA EM
DIFERENTES VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO**

GUILHERME APARECIDO GOMES DE MORAES

Orientador: Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos

Co-orientador: Prof. Dr. André Luiz Andreoli

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Energia na
Agricultura).

BOTUCATU – SP

Dezembro - 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M827a Moraes, Guilherme Aparecido Gomes de, 1982-
Avaliação dos níveis de vibração no operador de um trator agrícola ensaiado em pista normatizada em diferentes velocidades de deslocamento / Guilherme Aparecido Gomes de Moraes. - Botucatu : [s.n.], 2015
ix, 75 f. : fots. color., grafs. color., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015
Orientador: João Eduardo Guarnetti dos Santos
Coorientador: André Luiz Andreoli
Inclui bibliografia

1. Tratores agrícolas - Vibração - Medição. 2. Mecanização agrícola. 3. Saúde do trabalhador. 4. Insalubridade. I. Santos, João Eduardo Guarnetti dos. II. Andreoli, André Luiz. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

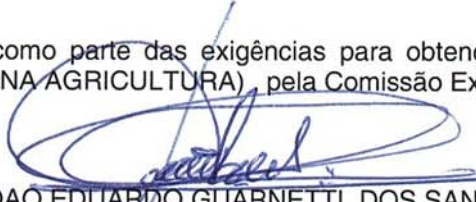
TÍTULO: "AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO NO OPERADOR DE UM TRATOR AGRÍCOLA ENSAIADO EM PISTA NORMATIZADA EM DIFERENTES VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO"

AUTOR: GUILHERME APARECIDO GOMES DE MORAES

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOAO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. ANDRÉ LUIZ ANDREOLI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA) pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. JOAO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru



Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu



Prof. Dr. RICARDO CARVALHO TOSIN

Data da realização: 04 de dezembro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo aquilo que aconteceu na minha vida. Só Ele é a prova de tudo aquilo que eu senti, das alegrias e dificuldades ao realizar esse trabalho. Tenho certeza absoluta que estará ao meu lado na minha caminhada. Chego a conclusão nesse importante dia da minha vida, que eu estava no lugar certo, na hora certa!

Ao meu pai Sr. Ivaldo Gomes de Moraes por ser a minha maior inspiração. Ao observá-lo na sua profissão percebi a importância da ciência e dos estudos científicos na contribuição para o bem ao próximo.

A minha esposa Ana Flávia, uma pessoa incrível, companheira e incentivadora. Obrigado pelo carinho disponibilizado a mim ao longo do curso do mestrado e na ajuda na formatação desse trabalho. Mesmo morando longe você é parte disso!

Ao meu orientador Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos, sobretudo pela confiança a mim disponibilizada. Foi uma das peças fundamentais para essa conquista, sendo importante não somente na orientação desse trabalho, mas também fazendo o papel de um pai em determinados momentos. Serei eternamente grato ao senhor, muito obrigado!

Ao meu co-orientador Prof. Dr. André Luiz Andreoli, uma das pessoas mais inteligentes e bondosas que já conheci. Minha admiração e gratidão por você é tanta que não consigo explicar. Antes mesmo de ser meu coorientador já o considerava como um verdadeiro amigo. Sua ajuda, seu apoio e orientações foram de extrema importância para mim e peço a Deus uma oportunidade para um dia retribuir tudo aquilo que você me proporcionou. Deus abençoe e você e a sua família meu amigo!

Ao Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças pelos valiosos apontamentos como membro da banca examinadora e por disponibilizar as dependências do NEMPA, sobretudo a pista de vibração, para a realização do ensaio desse trabalho.

Ao Dr. Ricardo Carvalho Tosin por aceitar fazer parte da banca examinadora e por contribuir com importantes sugestões na estruturação desse trabalho.

Aos suplentes da banca de examinadora Profs. Drs. Rudolf Ribeiro Riehl da FEB/UNESP e Saulo Philipe Sebastião Guerra pela amizade e por aceitarem o convite

Aos pós-graduandos e meus amigos Lucas da Silva Doimo e Jefferson Sandi pela amizade, confiança e apoio não somente no ensaio dessa dissertação, mas pelo companheirismo ao longo do curso de mestrado. Muito obrigado amigos, sou muito grato por tudo!

A todos os integrantes do NEMPA, em especial a Emanuel Rangel Spadim, Miguel Pascucci e Murilo Battistuzzi Martins pelo apoio na execução desse trabalho.

A Romulo Leonardo da Silva pelo seu esforço na confecção da pista de vibração.

Ao Prof. Dr. Marco Antonio Hungaro Duarte da FOB/USP não somente pelo ajuda na parte da estatística desse trabalho, mas também por ser uma grande inspiração. “Sal” tenho você como meu irmão.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Vivan da FOB/USP pelas palavras de incentivo e apoio em vários momentos. Saiba “Digão” que o considero como meu irmão mais novo.

Ao Prof. Dr. Manoel Menezes da FC/UNESP por ser um grande incentivador e por me apoiar em momentos de aflições e dúvidas no decorrer dessa caminhada.

Ao Prof. Dr. João Candido Fernandes da FEB/UNESP pela prontidão e disponibilidade no esclarecimento de dúvidas surgidas ao longo desse trabalho.

Aos Profs. Drs. Sérgio Hugo Benez e Paulo Roberto Arbex Silva não somente por suas brilhantes aulas e ensinamentos, mas também por me apoiar quando mais precisei durante o curso do mestrado. Admiro muito vocês como pessoas e como mestres. Tenho muita gratidão, tenham certeza absoluta disso! Deus abençoe a família de vocês.

Aos pós-graduandos e amigos José Eder Pereira da Silva, Jorge Martinelli, Raquel Berna e Samantha Almeida pela amizade e companheirismo durante todo o curso do mestrado.

Peço a Deus que vocês alcancem tudo àquilo que almejem. Muito obrigado por tudo meus amigos!

Ao Prof. Dr. José Ângelo Cagnon da FEB/UNESP pelo seu apoio e contribuição em vários momentos dentro da nossa parceria no grupo de estudo formada durante essa caminhada.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural da FCA, em especial ao Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros e na pessoa do Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin pelo apoio como coordenador do Programa de Pós-graduação - Energia da Agricultura.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Energia na Agricultura) da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu, pelo ensino disponibilizado e pela oportunidade de fazer parte do corpo discente dessa importante instituição de ensino.

A secretaria de Pós-graduação pela assistência disponibilizada ao longo do curso.

A todos os meus amigos, que direta ou indiretamente me ajudaram na execução desse trabalho, agradeço pelo apoio e peço a Deus para sempre abençoá-los e protegê-los.

Agradeço e dedico esse trabalho ao meu professor e mestre do curso de graduação Prof. Dr. Edson Antonio Lenzi, o nosso querido “Pita” (*in memoriam*). Sem dúvida o Sr. me mostrou com palavras e atitudes o significado da palavra professor. Um dia, se assim Deus permitir, que eu venha a ter o ensino universitário como profissão, pretendo mantê-lo como minha principal inspiração, utilizando seus ensinamentos como referência. Muito obrigado professor, tenho certeza que o Sr. se encontra em um ótimo lugar torcendo pela gente!

Ao CNPq por possibilitar a aquisição do equipamento HVM100 o qual permitiu a elaboração desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
RESUMO	1
1 INTRODUÇÃO	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Vibração mecânica.....	7
2.2 Efeitos da vibração sobre o corpo humano	8
2.3 Vibração em tratores agrícolas.....	11
2.4 Meios de transmissão da vibração.....	13
2.5 Medição da vibração	16
2.6 Legislação brasileira relativa à vibração	18
2.7 Equipamentos de medição	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Material	25
3.1.1 Pista de ensaio normatizada	25
3.1.2 Trator	26
3.1.3 Transdutores.....	27
3.1.4 Outros equipamentos	28
3.2 Métodos.....	29
3.2.1 Medição da vibração	29
3.2.2 Velocidade média de deslocamento.....	31
3.2.3 Trator agrícola.....	32
3.2.4 Configuração do equipamento	32
3.2.5 Delineamento experimental	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5 CONCLUSÕES.....	44
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS.....	55
APÊNDICES.....	65

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A (8)	Tempo de exposição para uma jornada de 8 horas
ACGIH	Conferência Americana de Higienistas Governamentais e Industriais
Aeq	Nível de energia equivalente da medição
Amáx	Nível máximo de aceleração RMS
Amin	Nível mínimo de aceleração RMS
Amp	Nível máximo do pico durante a medição
Arms	Aceleração RMS
CF	Fator de Crista Instantâneo
CFmp	Fator de Crista Total
ICP	Circuito Piezoeletrico Integrado
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
IRAM	Instituto Argentino de Normalização e Certificação
ISO	International Organization for Standardization
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
MEMS	Sistema Micro eletromecânico
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NR	Norma Regulamentadora
OIT	Organização Internacional do Trabalho
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
RMS	Raiz Quadrada da Média
VCI	Vibração de Corpo Inteiro
VDV	Valor da Dose de Vibração
WBV	Vibração de Corpo Inteiro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema básico de sistema biodinâmico.....	9
Figura 2. Efeito da vibração sobre o ser humano.	10
Figura 3. Esquema básico de sistema de medição de vibrações.....	17
Figura 4. Curvas de ponderação em frequência para vibração transmitida ao corpo inteiro Wd e Wk.....	23
Figura 5. Eixos de direção adotados para medição.	24
Figura 6. Pista de vibração normatizada utilizada na pesquisa. Erro! Indicador não definido.	
Figura 7. Pista de vibração com as diferentes alturas dos degraus em madeira e suas respectivas dimensões.....	26
Figura 8. Degraus com diferentes alturas ao longo da pista.....	26
Figura 9. Trator utilizado na pesquisa.	27
Figura 10. Registrador e medidor de vibração HVM 100.	28
Figura 11. Transdutor SEN027-CBL empregado na pesquisa.	28
Figura 12. Fixação do transdutor SEN027-CBL no assento do trator seguindo recomendação da NHO 09.....	30
Figura 13. Detalhe da orientação dos três eixos no <i>seat pad</i> SEN027-CBL.....	30
Figura 14. Deslocamento do trator ao longo da pista de vibração.	31
Figura 15. Gráfico dos valores de VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) na soma dos 3 eixos em cada tratamento	34
Figura 16. Gráfico da comparação dos valores de CF_{mp} entre os tratamentos	41
Figura 17. Gráfico dos valores de VDV na soma dos 3 em cada velocidade de deslocamento	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características técnicas do trator utilizado na pesquisa.....	27
Tabela 2. Demais equipamentos utilizados na pesquisa	29
Tabela 3. Comparação dos valores de VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) na soma dos 3 eixos em cada tratamento.....	34
Tabela 4. Comparação dos valores VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) no eixo X	36
Tabela 5. Comparação dos valores VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) no eixo Y	37
Tabela 6. Comparação dos valores VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) no eixo Z.....	37
Tabela 7. Comparação dos valores de A_{EQ} (m/s^2) entre os tratamentos	38
Tabela 8. Comparação dos valores de $A_{m\acute{a}x}$ (m/s^2) entre os tratamentos.....	39
Tabela 9. Comparação dos valores de A_{mp} (m/s^2) entre os tratamentos.....	39
Tabela 10. Comparação dos valores de A_{min} (m/s^2) entre os tratamentos.....	39
Tabela 11. Comparação dos valores de CF_{mp} entre os tratamentos	40
Tabela 12. Comparação dos valores de A (8) entre os tratamentos	41

RESUMO

A mecanização na agricultura brasileira vem crescendo, cada vez mais, ao longo das últimas décadas. Como consequência dessa mecanização, o cuidado com a segurança em relação aos operadores de máquinas agrícolas deve estar presente, já que esses veículos expõem o trabalhador a uma série de riscos, tais como: físicos, químicos, biológicos, ergonômicos de acidentes e, especificamente, os relacionados às vibrações do equipamento. O presente trabalho teve como objetivo comparar os níveis de vibração em um trator agrícola ensaiado em pista normatizada em diferentes velocidades de deslocamento. O experimento foi conduzido nas dependências da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP no Campus de Botucatu-SP. Empregou-se um trator agrícola de 92 kW de potência e os parâmetros avaliados foram: valor da dose de vibração, nível de energia equivalente da medição, níveis máximo, médio e mínimo de aceleração RMS resultantes nos 3 eixos (x, y e z), nível máximo do pico durante a medição, fator de crista total e a aceleração normalizada para jornada de trabalho de 8 horas. A aquisição dos dados foi realizada com o registrador de vibração HVM 100. As grandezas propostas foram avaliadas em quatro velocidades de deslocamento ($V_1=2,5$ km/h, $V_2=3,0$ km/h, $V_3=3,6$ km/h e $V_4=4,4$ km/h). Os dados foram analisados estatisticamente por meio de comparação global ANOVA a um critério e quando a análise apresentou diferença estatística realizou-se uma comparação individual por meio do teste de Tukey ($p<0,05$). Observou-se que os valores de dose de vibração foram crescentes com o aumento da velocidade de

deslocamento. O eixo x foi aquele que apresentou os maiores valores de dose de vibração. Os valores das acelerações máxima, mínima, aceleração equivalente ponderada e aceleração média ponderada foram maiores na $V=4,4$ km/h.

Palavras-chave: Mecanização agrícola, segurança no trabalho, pista normatizada ISO 5008, condições insalubres.

EVALUATION OF VIBRATION LEVELS IN AN OPERATOR OF AGRICULTURAL TRACTOR TESTED IN STANDARDIZED TRACK AT DIFFERENT SPEEDS OF DISPLACEMENT

Botucatu, 2015.

Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: GUILHERME APARECIDO GOMES DE MORAES

Adviser: JOÃO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS

Co-adviser: ANDRÉ LUIZ ANDREOLI

SUMMARY

The Brazilian agriculture mechanization has grown increasingly in recent decades. As a result of mechanization, great care for safety of agricultural machine operators must be present, as these vehicles expose workers to various risks, such as physical risks related specifically to the vibration of the equipment. This study aimed to evaluate the vibration levels in an agricultural tractor tested on standard roadway at different speeds accomplished in Agricultural Sciences Faculty of UNESP in Botucatu. Was used a farm tractor with 92 kW of power, and the parameters evaluated in this research were vibration dose value, equivalent power level measurement (RMS) maximum, medium and minimum acceleration resulting in 3 axes (x, y, and z), maximum peak level during the measurement, crest factor normalized acceleration and total for workday of eight hours. The data acquisition was performed with vibration recorder HVM100. The proposed data were evaluated in four forward speeds ($V_1=2.5$ km/h, $V_2=3.0$ km/h, $V_3=3.6$ km/h and $V_4=4.4$ km/h). The data were statistically analyzed using ANOVA overall comparison to one criterion and when the analysis showed statistical significance was performed an individual analysis compared by Tukey test ($p<0.05$). It was observed that vibration dose values increased with increase of the speed. The x-axis was the one that presented highest vibration dose values. Values of maximum and minimum acceleration, acceleration equivalent weighted and the weighted average acceleration had their highest values at $V=4.4$ km/h.

Keywords: Agricultural mechanization, work safety, ISO 5008 track, unsanitary conditions.

1 INTRODUÇÃO

As atividades rurais podem ser consideradas muito perigosas, já que os riscos presentes durante a execução das tarefas são inúmeros. Podem-se destacar os riscos físicos, como as vibrações presentes em máquinas agrícolas, o ruído proveniente desses veículos e a radiação solar. Os riscos químicos, como a presença de elementos tóxicos presentes no ar na ocasião da aplicação de defensivos agrícolas. Os biológicos, aos quais estão sujeitos, sobretudo, aqueles trabalhadores que estão em contato próximo a bovinos na ocasião da ordenha, por exemplo, podendo ocorrer o contágio de doenças como tuberculose bovina e brucelose. O risco ergonômico, caracterizado pelo desgaste musculoesquelético do corpo do trabalhador ao se executar uma tarefa que exija um grande esforço físico como o corte de cana; e o risco de acidente, caracterizado pelo fato do indivíduo poder sofrer quedas ou torções, escoriações e cortes com a própria ferramenta de trabalho (facões).

Algumas particularidades do ambiente agrícola levam a apresentar fatores negativos com relação à segurança ocupacional como a ausência de uniformidade e controle sobre o local de trabalho, sendo esse o mesmo, em relação ao seu lar; o emprego frequente de mão-de-obra familiar sem restrições de idade (crianças, adolescentes e idosos trabalham nesse meio) e inexpressiva atuação do estado na fiscalização das normas regulamentadoras e dos riscos das atividades agrícolas.

O uso de máquinas agrícolas no processo produtivo do agronegócio brasileiro tem sido cada vez maior. Como consequência dessa mecanização, o cuidado, com a segurança em relação aos operadores de máquinas agrícolas, deve estar presente, já que esses veículos expõem o trabalhador a uma série de riscos, tais como riscos físicos, especificamente os relacionados às vibrações do equipamento.

A vibração é um agente físico nocivo presente em várias atividades laborais no cotidiano rural, já que, dependendo da atividade, pode submeter os trabalhadores às vibrações localizadas (também denominadas de vibração de mãos e braços ou de extremidades) e as vibrações de corpo inteiro. Esse agente é característica intrínseca de veículos pesados e máquinas agrícolas, tais como tratores e retroescavadoras. A transmissão das vibrações ao corpo e membros do operador se faz pelo contato com o assento do veículo e, também, por meio do seu volante, pedais e alavancas de manipulação. A variável vibração pode ser medida por meio de um dispositivo eletromecânico denominado acelerômetro.

Ao longo de uma jornada de trabalho, o operador de um trator agrícola pode estar exposto a vibrações de baixa frequência, que podem ser definidas como aquelas transmitidas ao corpo como um todo (chamadas também como vibrações de corpo inteiro), geralmente, por meio das superfícies de suporte, tais como: pé, costas e nádegas de uma pessoa sentada.

O emprego de um dispositivo de segurança como o sensor de vibração em máquinas poderá atuar como ferramenta para análise de condições operacionais, apresentando subsídios à avaliação da dose de vibração que o operador estará submetido durante a jornada de trabalho.

A aplicação desse dispositivo, permitindo o acompanhamento e o registro das condições de vibração a que o operador está exposto ao longo de uma jornada de trabalho, certamente, trará benefícios na área de segurança dentro da mecanização agrícola, pois, permitirá aferir se a atividade está sendo desenvolvida dentro dos limites que as normas de segurança preconizam.

O objetivo do presente trabalho foi estudar os níveis de vibração mecânica incidente sobre o operador de um trator agrícola trafegando sobre uma pista de ensaio de vibração normatizada em diferentes velocidades de deslocamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A mecanização agrícola é essencial na agricultura moderna. Atividades como o preparo de solo, adubação e colheita, que no passado eram realizadas somente com trabalho manual e/ou animal, atualmente são desenvolvidas com o auxílio de máquinas cada vez mais modernas.

Cunha *et al.* (2009) relataram que esse processo contribui significativamente para garantir melhores produtividades, permitindo o cultivo de maiores áreas.

O trator agrícola apresenta vital importância dentro do processo de desenvolvimento da agricultura brasileira devido à sua versatilidade na execução de inúmeras tarefas no meio rural, servindo como fonte de potência de diversos equipamentos e implementos agrícolas (ROZIN, 2004). Para Márquez (1990) o trator agrícola é considerado a base da mecanização agrícola moderna.

Debiasi *et al.* (2004) opinaram que a presença de itens relacionados ao conforto e ergonomia é menor quanto mais antigos forem os tratores agrícolas, implicando numa maior severidade dos efeitos dos fatores ambientais que incidem no operador da máquina durante a execução da sua atividade laboral.

Além da nocividade causada pela ausência de qualidade ergonômica dos tratores agrícolas, a elevada jornada de trabalho que o operador permanece

nas atividades agrícolas, torna-se bastante árdua, uma vez que o mesmo está sujeito a poeiras, vibrações, intempéries e ruídos (IIDA, 2005).

Para se verificar o conforto do operador, podem ser feitas análises subjetivas ou objetivas, sendo que a análise subjetiva é realizada por meio de um ou mais trabalhadores que possuam experiência na área. Já, a análise objetiva é feita pela determinação das amplitudes, direções, frequências e duração das vibrações. Mesmo sabendo que a transmissão da vibração esteja diretamente relacionada com o assento, outros mecanismos influenciam na magnitude da vibração, como: plataforma, pneus, coxins, amortecedores, utilização de implementos, entre outros (ROTH, 2010).

Iida (2005) relatou que a ergonomia deve ter como objetivo, ao caracterizar um ambiente de trabalho, considerar fatores importantes como: homem (características físicas, fisiológicas, psicológicas e sociais do trabalhador, influência de sexo, idade, treinamento e motivação); máquina (todas as ajudas materiais que o homem utiliza no seu trabalho; englobando equipamentos, ferramentas, mobiliários e instalações); ambiente (as características físicas que envolvem o homem durante o trabalho, como temperatura, ruídos, vibrações, luz, cores, gases e outros); entre outros. A ergonomia age sobre estes fatores, buscando aperfeiçoá-los, visando aumentar a eficiência do sistema de forma a beneficiar o homem.

2.1 Vibração mecânica

Vibrações são oscilações mecânicas regulares ou irregulares de um corpo em torno de um ponto de repouso (SELL, 2002).

Para Saliba *et al.* (2002), o conceito de vibrações compreende-se com um movimento oscilatório de um corpo devido a forças desequilibradas de componentes rotativos e movimentos alternados de uma máquina ou equipamento. Quando um determinado corpo vibra, descreve um movimento oscilatório e periódico, envolvendo deslocamento durante um tempo determinado. Tem-se, então, envolvidas no movimento, uma velocidade, uma aceleração e uma frequência (número de ciclos completos/unidade de tempo).

Franchini (2007) descreveu vibração como o movimento de deslocamento oscilatório e periódico de um corpo durante certo tempo, sendo

caracterizado, por uma velocidade, uma aceleração e uma frequência (número de ciclos completos/minuto).

As vibrações ocorrem em todos os sistemas mecânicos com maior ou menor intensidade, não sendo possível eliminá-las totalmente, podendo, apenas, diminuir seus efeitos por meio da adição de componentes que permitam controlar ou isolar estes fenômenos, deixando-os em níveis aceitáveis (BACK, 1983).

Segundo Anflor (2003) existem quatro fatores físicos importantes para determinar a vibração no corpo humano que são: intensidade, frequência, direção e duração (tempo de exposição) da vibração.

As vibrações consistem de uma mistura complexa de diversas ondas, com frequências e direções diferentes. A partir da análise desses componentes é possível calcular o nível médio das vibrações e, diferentemente de outros agentes físicos ou químicos, onde o trabalhador atua de forma passiva, na exposição ao risco; no caso das vibrações, essas são caracterizadas pelo contato entre o trabalhador e o equipamento ou máquina que transmite a vibração (CUNHA *et al.*, 2009) .

Para Prasad *et al.* (1995), as vibrações são resultantes das interações entre o trator e o micro-relevo do solo onde ele opera e, também, com a sua fonte de potência. A raiz quadrada da média (RMS) é o parâmetro mais utilizado para a verificação da aceleração, já que o valor corresponde àquele eficaz da vibração.

2.2 Efeitos da vibração sobre o corpo humano

Os efeitos decorrentes da exposição da vibração sobre o corpo humano (WBV) dependem da frequência de excitação, da aceleração, do deslocamento e da velocidade de deslocamento da máquina. As principais frequências de excitação, à qual o corpo humano é exposto, são geradas por meio de veículos pesados, pontes rolantes, entre outros (ANFLOR, 2003).

Os efeitos das vibrações sobre o corpo humano podem atingir graus muito graves como, por exemplo, danos permanentes a órgãos internos, perda de equilíbrio, visão turva, falta de concentração e outros (GERGES, 2000).

Entre as categorias profissionais mais afetadas pela VCI pode ser citada a dos operadores de máquinas e veículos, em geral; como escavadoras, pás carregadoras, tratores agrícolas, máquinas florestais utilizadas no processamento de

árvores, caminhões, ônibus e etc. Trabalhadores expostos às vibrações de corpo inteiro em condições severas podem apresentar distúrbios na região dorsal e lombar, no sistema reprodutivo, problemas gastrintestinais e visuais. Outras pesquisas relataram prejuízos nos discos intervertebrais e degeneração da coluna vertebral, entre outros efeitos (GRIFFIN, 1998).

Berasategui (2000) relatou que o corpo humano reage às vibrações de forma diferente. A sensibilidade às vibrações longitudinais é distinta da sensibilidade transversal. Em cada direção, a sensibilidade varia com a frequência, sendo que a aceleração tolerável para determinada frequência é diferente daquela em outra frequência. Frequências abaixo de 1 Hz causam enjoos, enquanto as frequências entre 3 Hz e 8 Hz afetam os intestinos e a coluna vertebral e aquelas, entre 15 Hz e 24 Hz, podem interferir na visão, diminuindo a fixação e a percepção visual.

Os efeitos das vibrações no trabalhador, segundo Robin (1987), são influenciados por três variáveis: a frequência (expressa em Hertz); o nível (m/s^2) e a duração (tempo).

As vibrações mecânicas oriundas do funcionamento da máquina e proporcionadas pela rugosidade da superfície de deslocamento tornam-se problemáticas quando a frequência de determinadas partes do corpo, como o tronco humano que vibra na frequência de 4-8 Hz (Figura 1), acaba se aproximando da frequência de vibração do trator (1-7 Hz), podendo elevar as chances de problemas de saúde no operador (ZEHSZ *et al.*, 2011).

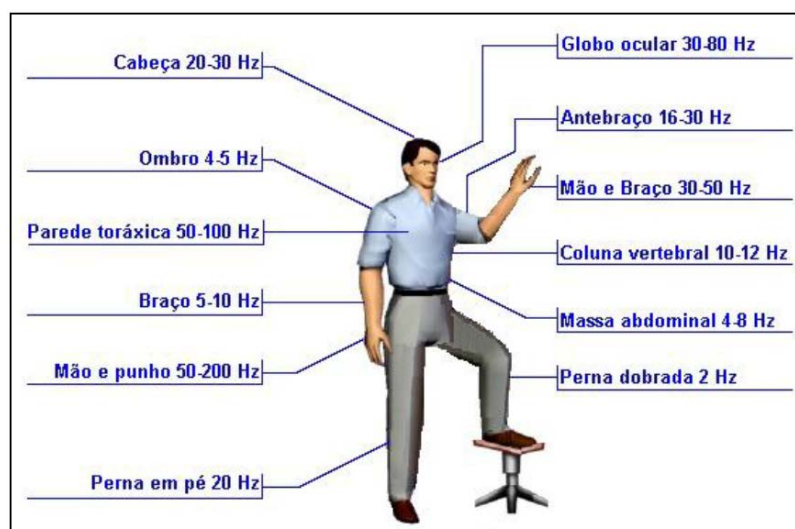


Figura 1: Esquema básico de sistema biodinâmico. Fonte: Brüel e Kjaer, (1988).

Conforme relatado por Kroemer e Grandjean (2005), as vibrações podem afetar a percepção visual, o desempenho psicomotor e muscular e, de forma mais amena, os sistemas circulatório, respiratório e nervoso. Logo, a vibração pode prejudicar a percepção visual, o processo mental da informação, a capacidade motora e de precisão. Quando as vibrações naturais do corpo humano coincidem com a frequência da vibração externa, pode ocorrer ressonância e, por consequência, a ampliação do movimento. Em razão disso, a energia vibratória absorvida pelo corpo, pode causar danos aos órgãos do trabalhador. Em todos os testes de direção em que foram simulados os efeitos psicofisiológicos das vibrações, a eficiência na direção foi prejudicada na exposição às vibrações na faixa de 4 Hz. Verificou-se que seus efeitos negativos cresceram com o aumento da aceleração e os erros de direção aumentaram quando o operador está sujeito a acelerações na ordem de $0,5 \text{ m/s}^2$, tornando impossível dirigir com segurança quando as acelerações atingiram $2,5 \text{ m/s}^2$ (Figura 2).

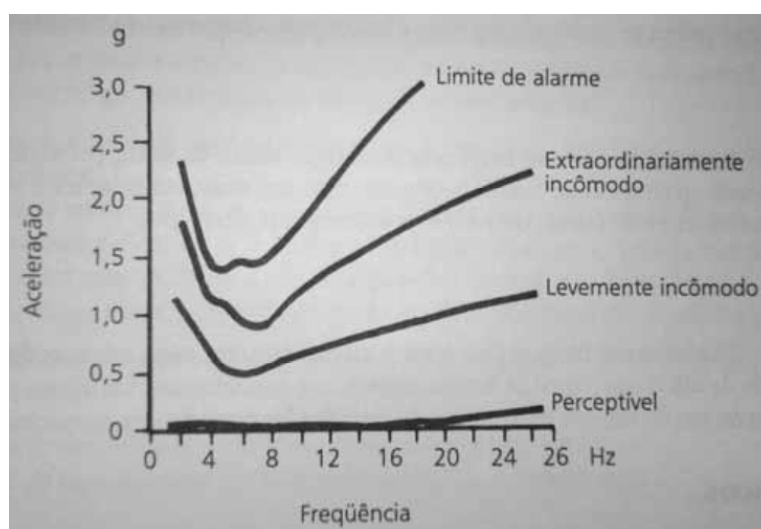


Figura 2: Efeito da vibração sobre o ser humano. Fonte: Chaney, (1964).

A exposição periódica de uma pessoa a altos níveis de vibrações em seu posto de trabalho pode acarretar lesões que afetam os órgãos internos com intensidades diferentes de acordo com a parte do corpo afetada e com o nível de intensidade da vibração. Vários problemas como esses podem ser evitados por meio de levantamentos de dados das condições de trabalho e pela adoção de valores limites para os níveis de exposição (KROEMER & GRANDJEAN, 2005).

A preocupação com a saúde do operador deve ser constante já que a gravidade das injúrias ao organismo, decorrentes dos descuidos em relação à vibração, ocorre durante o desempenho das atividades com o trator. É sabido que a exposição às vibrações de corpo inteiro pode levar ao desenvolvimento de patologias na região lombar e lesões da coluna vertebral (SOEIRO, 2011).

De acordo com Tosin (2009), as vibrações são fatores que causam doenças podendo levar ao afastamento do trabalhador, apresentando também grande influência na qualidade final das operações agrícolas que utilizam máquinas para sua realização.

2.3 Vibração em tratores agrícolas

Segundo Mialhe (1980), o trator agrícola se caracteriza por ser uma máquina que possui meios que o apoiam sobre a superfície de deslocamento e lhe permitem tracionar, transportar ou fornecer potência mecânica para máquinas e implementos agrícolas.

Já Berasategui (2000) considera os tratores agrícolas como a base para realizar a agricultura moderna, devido a grande maioria das operações de campo ser realizada com auxílio desta máquina. Pela importância e utilização em jornadas longas de trabalho, faz-se necessário oferecer boas condições àqueles que operam essas máquinas.

Monteiro (2011) relatou que os contínuos avanços científicos modificaram constantemente a estrutura, capacidade, funções e ergonomia dos tratores, disponibilizando novas tecnologias de gerenciamento e controle de desempenho aos operadores, garantindo maior capacidade operacional, menores custos e melhor aproveitamento da mão de obra disponível.

De acordo com relato de Roldán *et al.* (1999), as vibrações às quais um tratorista poderá ser submetido durante sua jornada de trabalho, podendo ser originárias de duas fontes. A primeira delas tem origem nas vibrações produzidas pelo motor e pela transmissão do trator, caracterizando-se por ser de alta frequência e pequena amplitude, sendo transmitida ao operador pelo assento, direção e comandos de operação. Seus efeitos sobre a saúde são considerados de pouca importância já que tais vibrações são amortizadas pelos braços e pelas pernas. Já, a segunda forma de vibração é aquela produzida devido às irregularidades do terreno. Essas vibrações caracterizam-se por serem de baixa frequência

e grande amplitude, e são transmitidas ao operador proporcionado pelo assento ou cabine, se for suspensão (com isolamento). Tornando-se mais nocivas ao coincidir suas frequências com as de ressonância da região lombar da coluna vertebral e de diversos órgãos internos, levando a efeitos patológicos de gravidade variável após um longo período de exposição.

Segundo Arend *et al.* (2005), novas tecnologias vêm sendo empregadas com o objetivo de suprir as demandas de produtores rurais, cada vez mais exigentes em soluções inovadoras, ajustadas com a necessidade de suas atividades, principalmente, em relação aos custos das operações mecanizadas. Visando atender a demanda do mercado consumidor, as máquinas agrícolas devem ser avaliados de modo a se conhecer suas características e capacidades, além de permitir as correções de eventuais erros de projeto ou de construção, que possam surgir no processo.

Fernandes *et al.* (2003) relataram que os níveis de vibração excessivos em tratores agrícolas são bastante desconfortáveis para o operador, causando aumento da fadiga, tanto física, como mental, já que o operador, no posto de trabalho, não se mantém em uma postura estável, devido ao contato dos membros e do corpo com o piso da cabina, com a direção, com os comandos e com o assento, fazendo com que hajam propagações das vibrações para o corpo, ao longo de sua atividade laboral.

No país, ainda são produzidos, tratores que não são projetados para fornecer uma relação homem-máquina adequada (adequação do posto de operação ao trabalhador); mesmo com o crescimento cada vez mais significativo pela procura por máquinas agrícolas, pois, o aprimoramento dos parâmetros operacionais e desempenho ainda são os principais objetivos das empresas. Essa ausência de relação homem-máquina obriga, muitas vezes, o operador a trabalhar exposto a condições inadequadas de clima, ruídos e vibrações (SANTOS *et al.*, 2014).

É invariável que o trator venha a se deslocar sobre superfícies com variados níveis de rugosidade ao longo das operações, fazendo com que os níveis de vibrações emitidos sejam variáveis durante a execução de alguma tarefa. Outras variáveis influenciam na emissão desses níveis como, por exemplo, o tipo de equipamento utilizado (arrasto ou montado) ou as condições de preparo de solo do terreno trabalhado. São fatores o tipo de rodado, as forças atuantes sobre o mesmo, as deformações, as interações existentes entre o solo e o rodado, o tipo e as condições do solo (textura, cobertura vegetal, compactação, umidade) (LANÇAS, 1997).

Corroborando com isso, Dhingra *et al.* (2003) relataram que, além das vibrações emitidas pelo motor, é importante considerar a influência das vibrações provenientes do movimento do trator pela superfície de deslocamento.

O sistema de rodados, além de ser o responsável por transmitir a força do motor para a superfície de deslocamento gerando o movimento, permite frenagens seguras, apresentando a capacidade de suportar o peso do trator (em condições estáticas e dinâmicas), agindo como um sistema de amortecimento dos impactos atribuídos às irregularidades do solo (MIALHE, 1980).

Nagaoka (2002) determinou que o comportamento e a capacidade de tração dos rodados pneumáticos de tratores agrícolas são determinados, principalmente, pela sua pressão de inflação, tamanho, transferência de peso, força aplicada nos eixos e da fonte de potência.

Hilbert *et al.* (2004) em trabalhos fundamentados na norma IRAM 4078/1, utilizando um trator agrícola em pista indeformável e irregular, quatro pressões de inflação (83; 110; 152 e 207 kPa) e três velocidades de trabalho (7; 12 e 20 km/h), demonstraram que as diferentes pressões influenciaram nos níveis das vibrações incidentes sobre o posto de operação.

Barceló *et al.* (2004), determinaram o nível de vibração que recebeu o operador de um trator agrícola por meio do assento. Foram empregadas três velocidades de deslocamento (7; 12 e 20 km/h), três diferentes pressões de inflação dos pneus (69; 103 e 207 kPa) e as duas regulagens presentes no assento (máxima e mínima). A metodologia empregada foi de acordo com a norma IRAM 4078/1 e as medições foram realizadas nos três eixos x, y e z. O estudo foi conduzido em uma superfície com 300 metros de comprimento indeformável e irregular. Os resultados apontaram que a melhor combinação entre a pressão de inflação, regulagem adequada do assento para o peso do operador e velocidades baixas apresentaram valores de vibrações ocupacionais dentro daqueles permitidos para trabalhos agrários comuns.

2.4 Meios de transmissão da vibração

De acordo com a norma ISO 2631 (1978), o corpo humano pode receber as vibrações de três formas diferentes: as que atingem o corpo inteiro ou partes substanciais do mesmo, vibrações transmitidas por meio de superfícies de sustentação (pés,

nádegas, costas, etc.) e as que atingem partes específicas do corpo (mãos, cabeça, etc.). As vibrações de corpo inteiro (VCI) são de baixa frequência e alta amplitude e situam-se na faixa de 1 a 80 Hz, mais especificamente 1 a 20 Hz. A VCI acontece quando há a vibração dos pés (posição em pé) ou do assento (posição sentada). Estas vibrações ocorrem mais nas atividades de transporte e vibrações transmitidas por máquinas industriais. Em tratores agrícolas, o operador recebe as vibrações por meio do assento, piso e comandos.

Os tratores agrícolas podem produzir vibrações de baixa frequência, que são transmitidas para o posto do operador, na maior parte, pelo assento (SERVADIO *et al.* 2007).

A transferência das vibrações das máquinas para o operador se dá por intermédio das partes do corpo que entram em contato mais direto com a fonte, geralmente, as nádegas, as mãos, os braços, as pernas, as costas e os pés (FIEDLER, 1995).

O posto de operação do trator agrícola deve ser elaborado visando aliar características como dirigibilidade, visibilidade, conforto, arranjo dos controles, facilidade de acesso, segurança, conforto sonoro, contra vibrações e térmico, bem como, proteção contra intempéries, poeira e detritos (YADAV e TEWARI, 1998).

De acordo com Yadav e Tewari (1998), todo o posto de operação deve ser projetado para acomodar 90% da população com possibilidades de conduzir tratores agrícolas, principalmente, em relação ao assento do trator e a posição dos comandos de operação de mãos e pés.

Yadav e Tewari (1998) relataram, ainda, que a partir do momento em que o posto de trabalho apresenta boas condições ergonômicas, o operador é exposto a menores cargas mentais e físicas, resultando em maior eficiência e rendimento, reduzindo, assim, a ocorrência de erros, acidentes e o desenvolvimento de doenças ocupacionais.

Inúmeras medidas vêm sendo adotadas visando amortecer ou amenizar as vibrações de baixa frequência, a fim de se reduzir os efeitos maléficos da exposição do operador a esse agente, principalmente, por meio do emprego de sistemas de suspensões mais eficientes no posto de operação (SANTOS, 2002).

Vários componentes de um trator agrícola podem influenciar na transmissão e nível das vibrações, tais como: pneus, coxins, amortecedores, posição e ajuste do assento; já que cada um desses componentes possuem diferentes mecanismos de ação e atuam de formas diferentes na atenuação das vibrações que ocorrem nos tratores durante sua operação (ROTH, 2010).

Os avanços em engenharia aliados às pesquisas e a novos tipos de materiais permitiram o desenvolvimento e adoção de novos componentes ou estruturas pelos fabricantes que melhoram o produto oferecido ao agricultor. Desde a década de 70 pesquisadores vêm desenvolvendo sistemas de suspensão experimentais para cabines de tratores agrícolas (ZEHSZ, 2011).

Para Prasad *et al.* (1995), é possível obter reduções no nível de vibração adotando suspensões nas rodas, porém, são sistemas onerosos e complexos. Adaichi *et al.* (1996) alcançaram sucesso na redução das vibrações e ruídos na cabine do trator por meio da adoção de amortecedores.

Conforme relatado por Zehsaz *et al.* (2011), em alguns países, devido às razões econômicas, um trator sem suspensões nas cabines e assentos tem mais clientes, fazendo com que os fabricantes decidam por disponibilizar apenas o isolamento da cabine, em seus produtos. Dessa forma o assento do operador acaba sendo o componente mais viável, economicamente, para diminuir os efeitos das vibrações que incidem sobre o operador.

No entanto, é sabido que parte da vibração que chega ao posto de operação e atinge o operador é transmitida a este pelo assento, sendo as vibrações com direção vertical a principal causa de problemas de saúde (FRANCHINI, 2007).

O assento pode reduzir o efeito das vibrações que chegam ao posto de operação, principalmente por meio de regulagens; porém, quanto maior for a velocidade de deslocamento, menor a eficiência deste componente em diminuir a ação das vibrações (BARCELÓ, 2004)

Para Prasad *et al.* (2005), o assento realizou a importante função de diminuir as forças excessivas transmitidas ao posto de trabalho.

Muitas vezes, essas melhorias podem acarretar em outras problemáticas como aquelas citadas por Silva (2011), as quais indicaram que os assentos contribuíram de forma significativa para a mudança comportamental por meio do fornecimento de melhor estabilidade do corpo, porém, isso acarretou em problemas ergonômicos para a disposição dos comandos.

Dentro desse aspecto relacionado ao aprimoramento de cabines, Becker (2006) relatou a importância de novos projetos de assentos que venham minimizar os esforços e o estresse do operador durante as operações agrícolas, sendo a massa do trator um dos fatores mais importantes na transmissão das vibrações.

A adequação do assento ao posto de operação deve ser feita buscando permitir que o operador possa trabalhar na posição sentada, pois, as medidas que permitem ao trabalhador desempenhar sua função com menores esforços físicos e desconforto garantem melhor produtividade e qualidade final na operação (SELL, 2002).

De acordo com Kroemer e Grandjean (2005), as vibrações afetam seriamente a percepção visual e o desempenho psicomotor e muscular, com efeito menor nos sistemas circulatórios, respiratório e nervoso. Pode-se concluir que a vibração prejudica a percepção visual, o processo mental da informação e o desempenho em testes de motricidade e de precisão.

Ainda segundo Kroemer e Grandjean (2005), o efeito adverso das vibrações sobre a visão, essa pode apresentar menor acuidade visual, imagem turva e tremida do campo visual. Isso vem a afetar a eficiência dos motoristas de tratores, caminhões, máquinas de construção e outros veículos, aumentando o risco de acidentes.

A exposição de uma pessoa a altos níveis de vibrações no posto de trabalho pode levar a mudanças mórbidas nos órgãos afetados caso isso venha a ocorrer diariamente, sendo que esses efeitos variam entre as partes do corpo, uma vez que algumas delas são mais susceptíveis aos efeitos vibracionais (KROEMER e GRANDJEAN, 2005)

Segundo Merck Sharp e Dohme (2008), outro efeito da vibração sobre o corpo humano é a lombalgia, que é dor que ocorre nas regiões inferiores lombossacrais ou sacroiliacas da coluna lombar. Ela pode ser acompanhada de dor que ao irradiar-se para uma ou ambas as nádegas ou para as pernas na distribuição do nervo ciático.

Kroemer e Grandjean (2005) relatam que operadores de tratores de vários países sofrem de problemas nos discos e artrite na coluna, assim como uma incidência acima da média de problemas intestinais, na próstata e hemorróidas. Os danos acumulativos causados à coluna entre trabalhadores submetidos às oscilações verticais de alto nível levam à suposição de que vibrações fortes e prolongadas podem causar o desgaste excessivo dos discos intervertebrais.

2.5 Medição da vibração

Um acelerômetro é um dispositivo eletromecânico capaz de medir aceleração, isto é, a taxa de variação da velocidade. Estas acelerações podem ser estáticas,

como a força da gravidade, ou dinâmicas, causadas por movimentação ou vibração. Basicamente, todos os tipos de acelerômetro traduzem o sinal externo de aceleração em um deslocamento correspondente de sua massa móvel, também conhecida como massa inercial ou de prova. Este deslocamento pode ser detectado por meio de diferentes esquemas de medição, sendo que os mais comuns são: capacitivo, piezoelétrico, piezoresistivo, ressonante e óptico (YADI *et al.*, 1998; KRISHNAN *et al.*, 2007).

Pela definição do Vocabulário Internacional de Metrologia (2000) um sistema de medições compreende o conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos inseridos para executar uma medição. É composto de três blocos, sendo um transdutor (ou captador), um dispositivo de amplificação (elétrico, mecânico ou óptico) e um indicador ou registrador de amplitude ou de nível, que serão analisados separadamente podendo, ainda, ser composto de filtros passa bandas para selecionar frequências específicas (Figura 3).



Figura 3: Esquema básico de sistema de medição de vibrações. Fonte: Adaptado de Ximenez, (2006).

O transdutor é a interface entre a vibração e o sistema de medição. Responde à vibração mecânica e a transforma em um sinal elétrico que pode ser interpretado pelo instrumento de medição. Os tipos mais comuns de acelerômetro são piezelétricos; piezelétricos com eletrônica integrada; piezoresistivo; capacitância variável; servoacelerômetro. Condicionadores de sinais são definidos como os elementos responsáveis pela adequação do sinal fornecido pelo transdutor aos requisitos da instrumentação de registro e/ou análise. São alguns exemplos de condicionadores de sinais os amplificadores diferenciais para acelerômetros piezorresistivos; amplificadores de tensão e amplificadores de carga para acelerômetros piezelétricos; etc. (VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA, 2000).

2.6 Legislação brasileira relativa à vibração

De acordo com Franchini (2007) na década de 1970, com o crescimento da preocupação relativa a problemas de coluna nas diferentes profissões, houve a necessidade de se realizar pesquisas visando estabelecer a relação entre a exposição às vibrações ocupacionais e os problemas, nessa parte do corpo.

No Brasil, a Norma Regulamentadora NR-31 estabelece os preceitos a serem observados na organização e no ambiente de trabalho, de forma a tornar compatível o planejamento e o desenvolvimento das atividades da agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura com a segurança e saúde e meio ambiente do trabalho. No que se refere à segurança no trabalho em máquinas e implementos agrícolas, a referida norma destaca que as máquinas e implementos devem ser utilizados segundo as especificações técnicas do fabricante e dentro dos limites operacionais e restrições por ele indicados, e operados por trabalhadores capacitados, qualificados ou habilitados para tais funções (BRASIL, 2005).

Outra norma à qual deve ser feita referência é a Norma Regulamentadora NR-12, que define as referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores. Estabelece, também, requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos e, ainda, à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas. Ela, também, destaca a vibração como um importante risco adicional durante a atividade laborativa quando se utiliza uma máquina (BRASIL, 2015).

A Legislação Brasileira por meio do Decreto-lei n.º 5.452, de 1º de maio de 1943 instituiu a Consolidação das Leis do Trabalho a qual, por meio do artigo nº 192, prevê que o exercício de trabalho em condições insalubres, acima dos limites de tolerância estabelecidos pelo Ministério do Trabalho, assegura a percepção de adicional respectivamente de 40% (quarenta por cento), 20% (vinte por cento) e 10% (dez por cento) do salário-mínimo da região, segundo se classifiquem nos graus máximo, médio e mínimo (BRASIL, 1943).

As atividades e operações que exponham a níveis de vibrações localizadas ou de corpo inteiro são caracterizadas como insalubres por meio de perícia e

comprovada mediante apresentação de um laudo de inspeção do local de trabalho. As avaliações da exposição encontram-se baseadas nos limites de exposição definidos pela Norma Regulamentadora NR-15 em seu anexo nº 8. O Anexo nº 8 estabelece os critérios para caracterização da condição de trabalho insalubre decorrente da exposição às Vibrações de Mãos e Braços (VMB) e Vibrações de Corpo Inteiro (VCI). Os procedimentos técnicos para a avaliação quantitativa das VCI e VMB são os estabelecidos nas Normas de Higiene Ocupacional da FUNDACENTRO (BRASIL,2014).

Até o final da década de 1980, as pesquisas relativas às vibrações ocupacionais em tratores agrícolas ficaram restritas a alguns centros devido à limitação tecnológica e ao elevado custo dos aparelhos até então empregados, fatores esses limitantes na realização de ensaios. Com o desenvolvimento de novas tecnologias e o surgimento de equipamentos com menor custo de aquisição, as pesquisas relacionadas a esse tema ganharam impulso no cenário global, gerando informações utilizadas como medidas para fiscalizar e melhorar as condições de trabalho, em relação às vibrações que incidem sobre os trabalhadores em diferentes atividades. Até então, encontravam-se em vigor apenas as normas ISO 2631:1997, a ISO: 5349-1:2001 e a ISO:5349-2:2001, sendo que mesmas não traduziam limites de exposição, sendo necessária a utilização de outras referências relativas aos limites de exposição a esse risco físico. Em 1974 foi publicada e disponibilizada a primeira versão da ISO 2631 sendo, posteriormente, reimpressa com mudanças e melhorias em 1978, 1982, 1985, 1997 e 2010. Segundo estas normas, a vibração deveria ser medida na estrutura ou ponto pelo qual a mesma será transmitida ao corpo inteiro. Deve-se ressaltar que, por muitos anos, a referida norma foi utilizada como referência para a NR 15 no que se refere às problemáticas existentes, relativas aos níveis de vibração prejudiciais aos trabalhadores. (GRIFFIN, 1998).

No ano de 1982 uma emenda foi adicionada à norma ISO 2631, definindo o valor ponderado global de vibração, por meio da combinação dos três eixos x, y e z (FRANCHINI, 2007).

Porém, de acordo com Anflor (2003), a partir de 1997, a ISO 2631 não apresentou mais os valores limites de exposição, substituídos pelos cálculos de valor dose de vibração e do valor da dose de vibração estimado.

A fim de se caracterizar o risco, faz-se necessário buscar e justificar a aplicação de outros critérios e limites para fundamentar as suas conclusões. Devem-se considerar também importantes subsídios como: queixas dos funcionários, tempo de

exposição e pausas existentes ao longo da atividade laboral, os métodos e processos de trabalho, a conservação e manutenção relativas aos instrumentos de trabalho, informações sobre as avaliações médicas voltadas, especificamente, ao agente, os nexos causais, aos treinamentos recebidos pelos operadores e outras ações das empresas, que permitam avaliar o seu grau de comprometimento, interesse e responsabilidade frente ao agente. É necessário que se faça a avaliação dos esforços que vêm sendo aplicados no reconhecimento, na avaliação e no controle da exposição à vibração (CUNHA, 2004).

A Norma de Higiene Ocupacional NHO-09 tem por objetivo estabelecer critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro (VCI) que implique possibilidade de ocorrência de problemas diversos à saúde do trabalhador, entre os quais aqueles relacionados à coluna vertebral sendo aplicada à exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro, em quaisquer situações de trabalho em que a vibração seja transmitida ao corpo, tanto na posição em pé, quanto na sentada. Em relação às referências normativas, os usuários desta NHO devem estar atentos às edições mais recentes das normas referendadas ou daquelas que venham a substituí-las como a ISO 2631-1 (1997) – *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements* e ISO 8041 (2005) – *Human response to vibration – Measuring instrumentation* (FUNDACENTRO, 2012).

A legislação determina que os seguintes itens devam constar obrigatoriamente em um laudo pericial, como: “o critério adotado; o instrumental utilizado; a metodologia de avaliação; a descrição das condições de trabalho e do tempo de exposição às vibrações; o resultado da avaliação quantitativa; as medidas para eliminação e/ou neutralização da insalubridade quando houver”. Uma vez constatada a ocorrência da insalubridade, essa será de grau médio, sendo assegurando ao trabalhador a quantia adicional de vinte por cento; incidente sobre o salário mínimo da região. (BRASIL, 2014).

O Decreto Federal nº 93413 promulgou a Convenção nº 148 da Organização Internacional do Trabalho (*International Labour Organization*) (ILO, 1977) a qual faz menção à proteção dos trabalhadores envolvidos em riscos profissionais devidos à contaminação do ar, ao ruído, e às vibrações no local de trabalho (BRASIL, 1986).

Esse decreto determina que a legislação nacional deva amparar medidas de prevenção e limitar os riscos ocupacionais, com o intuito de preservar o bem-estar dos trabalhadores.

De acordo com a Norma Regulamentadora NR-9, todos os empregadores que venham a admitir empregados estarão obrigados a elaborar e realizar o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) objetivando a preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, por meio da antecipação, reconhecimento, avaliação e posterior controle da ocorrência de riscos ambientais já existentes ou que venham a surgir no ambiente de trabalho (BRASIL, 1995).

De acordo com a NR-9, o PPRA deverá abranger, no mínimo, os seguintes tópicos: o planejamento anual com adoção das metas; prioridades; cronogramas; estratégia e metodologia de ação; registro, manutenção e divulgação dos dados obtidos e a forma de avaliação do desenvolvimento do programa. O item 9.3.5. da NR-9 (das medidas de controle) preconiza que deverão ser adotadas as medidas necessárias suficientes para a eliminação, a minimização ou o controle dos riscos ambientais sempre que forem verificadas uma ou mais das seguintes situações, a identificação, na fase de antecipação, de risco potencial à saúde, a constatação, na fase de reconhecimento de risco evidente à saúde, quando os resultados das avaliações quantitativas da exposição dos trabalhadores excederem os valores dos limites previstos na NR-15 ou, na ausência destes os valores limites de exposição ocupacional adotados pela ACGIH - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, ou aqueles que venham a ser estabelecidos em negociação coletiva de trabalho, desde que mais rigorosos do que os critérios técnico-legais estabelecidos e quando, por meio do controle médico da saúde, ficar caracterizado o nexo causal entre danos observados na saúde dos trabalhadores e a situação de trabalho a que eles ficam expostos (BRASIL, 1995).

O risco físico vibração é citado na Lista “A” do Decreto n.º 3.048/99 da legislação previdenciária brasileira dentre os agentes ou fatores de risco de natureza ocupacional relacionados com o surgimento de doenças laborais e de outras doenças relacionadas com o trabalho. A vibração é citada no anexo II do referido decreto como um agente patogênico causador de doenças profissionais ou do trabalho, relacionada a afecções dos músculos, tendões, ossos, articulações, vasos sanguíneos periféricos ou dos nervos periféricos. Entre os setores e atividades que contêm o risco são citados: indústria metalúrgica, construção naval e automobilística; mineração; agricultura; uso de instrumentos pneumáticos; ferramentas vibratórias, elétricas e manuais, e a condução de caminhões e ônibus. O decreto n.º 3.048, em seu anexo IV, que faz referência à classificação dos agentes nocivos; cita o direito ao benefício da aposentadoria especial, em

relação aos agentes físicos, onde forem comprovadas exposições acima dos limites de tolerância especificados, ou para as atividades descritas no referido anexo. (BRASIL, 1999).

A Instrução Normativa Nº 118 do Instituto Nacional do Seguro Social (BRASIL, 2006), em seu Art. 183, especifica que a exposição ocupacional às vibrações localizadas ou de corpo inteiro dará ensejo à aposentadoria especial, quando forem ultrapassados os limites de tolerância definidos pela Organização Internacional para Normalização – ISO, em suas Normas ISO nº 2631 e ISO/DIS nº 5349, respeitando-se as metodologias e os procedimentos de avaliação que elas autorizam. O artigo nº179 dessa Instrução Normativa fixa os procedimentos técnicos de levantamento ambiental que, ressalvada disposição em contrário, deverão considerar: a metodologia e os procedimentos de avaliação dos agentes nocivos estabelecidos pelas Normas de Higiene Ocupacional - NHO da FUNDACENTRO e os limites de tolerância estabelecidos pela NR-15 do MTE.

2.7 Equipamentos de medição

Os medidores a serem utilizados na avaliação da exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro devem ser integradores, atender aos requisitos constantes da Norma ISO 8041 (2005) ou de suas futuras revisões e complementações e estar ajustados de forma a atender aos seguintes parâmetros, conforme a Figura 4

Circuitos de ponderação para corpo inteiro

W_k para o eixo “z”

W_d para os eixos “x” e “y”

Fator de multiplicação “fj” em função do eixo considerado

$f_x = 1,4$

$f_y = 1,4$

$f_z = 1,0$

Medição em RMS

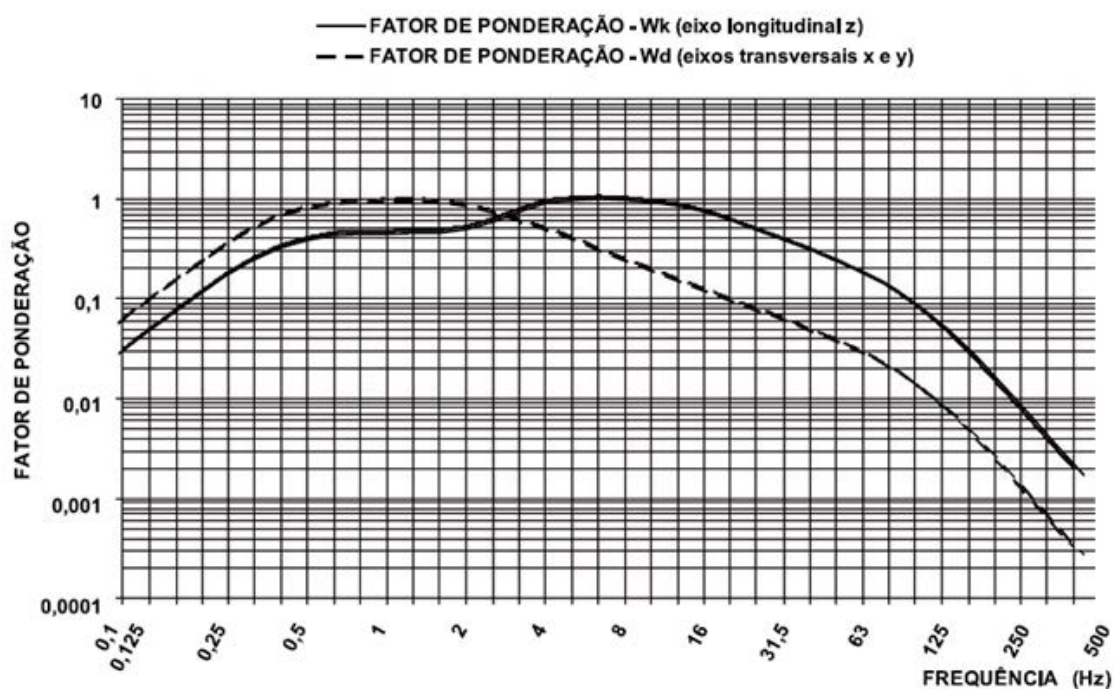


Figura 4: Curvas de ponderação em frequência para vibração transmitida ao corpo inteiro W_d e W_k . Fonte: adaptada de ISO 2631, (1997)

A seleção do registrador de vibrações (acelerômetro) deve ser feita considerando-se o tipo de montagem necessária para o devido posicionamento e fixação do transdutor e as características do sinal a ser medido, tais como: frequências, amplitudes, ocorrência de picos elevados (por exemplo: movimentação de veículos em pisos irregulares ou esburacados ou medições em plataformas vibrantes). Para avaliação da exposição ocupacional a vibrações transmitidas por assentos, devem ser utilizados acelerômetros de assento construídos especificamente para esta finalidade. A Figura 5 ilustra a disposição dos 3 eixos (x, y e z) cujas posições deverão ser respeitadas na fixação do acelerômetro (FUNDACENTRO, 2012).

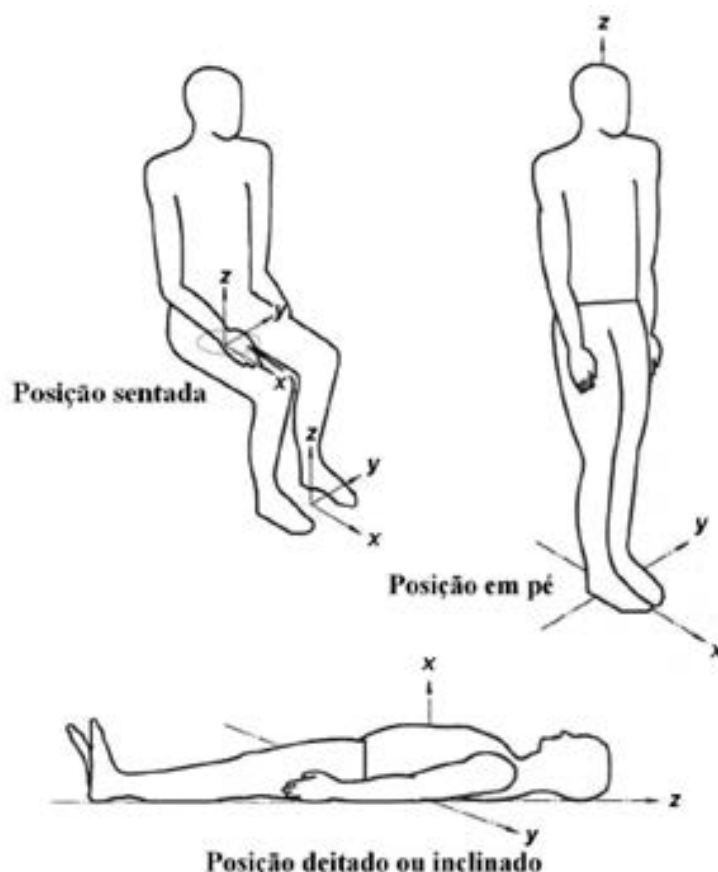


Figura 5: Eixos de direção adotados para medição. Fonte: adaptada de ISO 2631, (1997)

Os equipamentos utilizados na regulação dos medidores de vibração devem atender às especificações da Norma ISO 8041 (2005) ou de suas futuras revisões e complementações e ser compatíveis com os acelerômetros utilizados.

Medidores, acelerômetros e calibradores deverão ser periodicamente calibrados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), por laboratórios acreditados pelo Inmetro para esta finalidade ou por laboratórios internacionais, desde que reconhecidos pelo Inmetro. A periodicidade de calibração deve ser estabelecida com base nas recomendações do fabricante, em dados históricos da utilização dos medidores que indiquem um possível comprometimento na confiabilidade do equipamento e em critérios que venham a ser estabelecidos em lei. A calibração também deverá ser refeita sempre que ocorrer algum evento que implique suspeita de dano ou comprometimento do sistema de medição. Na utilização de medidores e calibradores deverão ser consideradas as interferências decorrentes das condições de umidade e temperatura, da presença de campos magnéticos ou outros interferentes, conforme especificados pelos fabricantes (FUNDACENTRO, 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado na Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Botucatu - SP. As coordenadas geográficas do local são: 22°51’S e 48°25’W e a sua altitude é de 760 metros.

3.1 Material

3.1.1 Pista de ensaio normatizada

A parte experimental foi realizada por meio de operações executadas em uma pista normatizada, construída em madeira em acordo com a norma ISO 5008 de 2002. Os degraus foram dispostos ao longo dos dois trechos de deslocamento (Figura 6) obedecendo aos critérios estabelecidos pela norma supracitada.

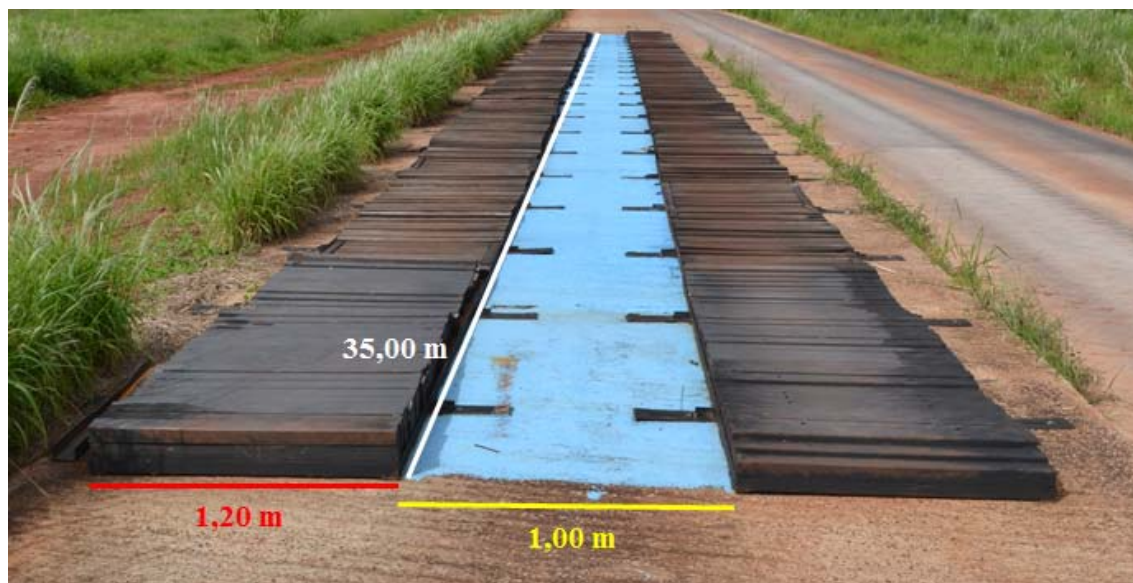


Figura 6: Pista de vibração com as diferentes alturas dos degraus em madeira e suas respectivas dimensões.

A Figura 8 apresenta um detalhamento do perfil da pista proporcionado pelos degraus de diferentes alturas.



Figura 7: Degraus com diferentes alturas ao longo da pista.

3.1.2 Trator

Utilizou-se um trator agrícola 4x2 com tração dianteira assistida (TDA) com 92 kW de potência no motor Figura 8 ensaiado com diferentes velocidades de deslocamentos. A relação técnica do veículo encontra-se na **Tabela 1**.



Figura 8: Trator utilizado na pesquisa.

Tabela 1. Características técnicas do trator utilizado na pesquisa

Marca	John Deere
Modelo	6125 J
Aspiração	Turbo alimentado
Número de cilindros (cm ³)	4 (4500)
Potência máxima (kW/cv)	92/125
Rotação nominal (rpm)	2.300
Reserva de torque (%)	25
Nº de marchas	16 a frente e 16 a ré
Velocidade (km/h)	2,5 a 30,6

3.1.3 Transdutores

Para obtenção dos dados de vibração utilizou-se um registrador e medidor de vibração HVM 100 da marca *Larson Davis* (Figura 9) conectado a um sensor de aceleração piezelétrico de três eixos (X, Y e Z) modelo SEN027-CBL (Figura 10) devidamente calibrado conforme o Anexo 1.

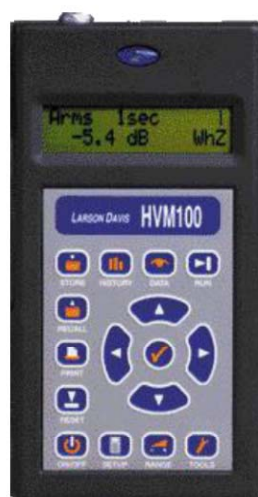


Figura 9: Registrador e medidor de vibração HVM 100. Fonte: TECHPERUINDUSTRIAL, (2015)



Figura 10: Transdutor SEN027-CBL empregado na pesquisa. Fonte: TECHPERUINDUSTRIAL, (2015)

3.1.4 Outros equipamentos

Os demais materiais utilizados no presente trabalho estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Demais equipamentos utilizados na pesquisa

Equipamento utilizado	Modelo / Versão
1 Microcomputador	HP-1000 Series-1400
1 Câmera fotográfica	Nikon 3D 1100
1 Software	Blaze [®] 6.1.1 Data navigation and analysis
1 Software	Graph Pad Prism 5.0
Tacômetro digital	DT6234B

3.2 Métodos

3.2.1 Medição da vibração

A medição da vibração foi realizada utilizando-se o registrador e medidor de vibração modelo HVM-100 para levantamento dos valores de aceleração de corpo inteiro de forma triaxial (eixos x, y e z). O sistema de medição de vibração para corpo inteiro foi fixado sobre o assento do operador de acordo com a NHO 09, com o acelerômetro triaxial (disco flexível, com um acelerômetro central) para mensurar a vibração aplicada a todo o corpo humano, de acordo com os três eixos. Para evitar a movimentação do disco, este foi fixado ao assento por meio de fita adesiva. O aparelho coletor dos dados de vibração foi ajustado de modo a coletar os parâmetros referentes à vibração no corpo todo, presentes nos três eixos e o intervalo de aquisição dos dados Figura 11.



Figura 11: Fixação do transdutor SEN027-CBL no assento do trator seguindo recomendação da NHO 09.

A Figura 12 mostra a localização e a fixação do acelerômetro no assento e o sistema de coordenadas ortogonais para a avaliação da exposição. As coordenadas cartesianas foram obedecidas na fixação do acelerômetro: eixo x – frente/trás; eixo y – direita/esquerda; eixo z – para cima/para baixo.



Figura 12: Detalhe da orientação dos três eixos no *seat pad* SEN027-CBL.

Foram obtidas as medições que o aparelho pode disponibilizar como as acelerações médias, máxima e mínima, o valor de pico máximo, a aceleração média com fator de soma dos eixos, o valor da dose de vibração e o fator de crista.

O acionamento do aparelho para a aquisição dos valores se deu um segundo antes da entrada do trator pela pista, sendo o aparelho desligado imediatamente após a saída da pista (Figura 13). A aquisição dos valores de aceleração foi programada para ser realizada a cada 1 segundo.



Figura 13: Deslocamento do trator ao longo da pista de vibração.

3.2.2 Velocidade média de deslocamento

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas quatro velocidades, de V_1 2,5km/h; V_2 3,0km/h; V_3 3,6km/h e V_4 4,4km/h. Foram determinadas utilizando a relação de marcha presente no painel de controle do trator utilizado e confirmadas por meio da divisão do tempo gasto para se efetuar o deslocamento sobre a pista sobre a sua distância que é de 35 m.

3.2.3 Trator agrícola

O trator foi ensaiado utilizando uma combinação de lastros sólidos e líquido obtendo uma massa de 70 kN (totalmente lastrado). Adotou-se uma distribuição de 35% do peso no eixo dianteiro e 65% no eixo traseiro. Em relação às pressões internas dos pneus, adotou-se as pressões de inflação para os pneus dianteiros de 83 kPa nos traseiros de 110 kPa. A rotação do motor foi determinada com auxílio de um tacômetro digital modelo DT6234B, onde se verificou a rotação do giro da árvore de manivelas do motor, chegando ao valor de rotação nominal de 2.300 rpm no virabrequim. Vale ressaltar que a tração dianteira auxiliar e o ar condicionado do trator permaneceram ligados durante todas as coletas de dados.

3.2.4 Configuração do equipamento

O aparelho HMTV100 foi configurado a operar no modo de corpo inteiro, média lenta, acelerômetro ICP, com referência de exposição de 2,8 m/s², sem integração, ponderação de frequência Wm, fatores multiplicativos de 1,4 (para os eixos x e y) e 1,0 (eixo z), sem ganho, sensibilidades de 104,9 mV/g (eixo x), 102,0 mV/g (eixo y) e 103,4 mV/g (eixo z) e saída com AC ponderado. O certificado de calibração encontra-se no Anexo 1.

3.2.5 Delineamento experimental

Os parâmetros avaliados na presente pesquisa foram: aceleração equivalente ponderada, valores para acelerações média, máxima e mínima resultantes nos três eixos, fator de crista das acelerações, valor da dose de vibração e a aceleração normalizada para jornada de trabalho de 8 horas.

Por meio de um cálculo amostral realizado pelo *Software Biostats Calculator* utilizando valores de média e desvio padrão, verificou-se a necessidade de se realizar cinco repetições em cada velocidade de deslocamento; totalizando 20 leituras dentre as quatro velocidades.

A análise estatística foi realizada por meio de comparação global ANOVA a um critério e quando a análise apresentou diferença estatística realizou-se uma comparação individual por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$) com o auxílio do *Graph Pad Prism 5.0* (*Graph Pad Software Inc, La Jolla, CA, USA*).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante dos resultados obtidos de VDV (Tabela 3), foi possível observar que os valores foram crescentes na medida em que a velocidade de deslocamento foi aumentada, apresentando diferença estatística entre todas as velocidades como pode ser observado no gráfico da Figura 14. Os resultados obtidos corroboram com Lanças *et al.* (2009), em um experimento variando a potência do trator, a pista de deslocamento, a pressão de inflação dos pneus e a velocidade média de deslocamento obteve resultados que indicam que o aumento da velocidade de deslocamento também eleva os níveis de vibração transmitida ao operador.

Zehsaz *et al.* (2011), também encontraram relações positivas entre o aumento da velocidade de deslocamento e das vibrações no posto operacional.

Pinho (2014) avaliando a relação da lastragem do trator com os níveis de vibração em operação de escarificação em profundidades de 15 e 30 cm estabeleceu uma relação entre os níveis de vibração, profundidade de operação e velocidade de deslocamento. Notou-se o aumento da vibração com o aumento da velocidade de deslocamento do trator na profundidade 15 cm, porém na profundidade de 30 cm houve a diminuição da vibração, que segundo o autor pode ser explicado pelo aumento do atito do dispositivo escarificador e consequentemente dissipação da vibração em maiores profundidades.

Tabela 3. Comparação dos valores de VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) na soma dos 3 eixos em cada tratamento

Tratamento	Média	DP	Mínimo	Máximo	Análise*
V2,5	5,69	4,13	5,08	5,96	a
V3,0	7,13	0,63	7,04	7,18	b
V3,6	8,14	2,49	7,82	8,41	c
V4,4	10,33	0,95	10,20	10,40	d

* Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre linhas ao nível de 5% calculado por meio do teste Tukey.

A pesquisa realizada por Hoy & Murabark (2000), verificaram que os valores de VDV em caminhões estão compreendidos dentro do intervalo de 23,91 a 44,87 $\text{m/s}^{1,75}$. Já Pinho (2012) alcançou valores dessa mesma variável na ordem de 60 a 202 $\text{m/s}^{1,75}$. Nota-se que os valores apresentados na pesquisa são mais baixos do que àqueles apresentados pelos autores.

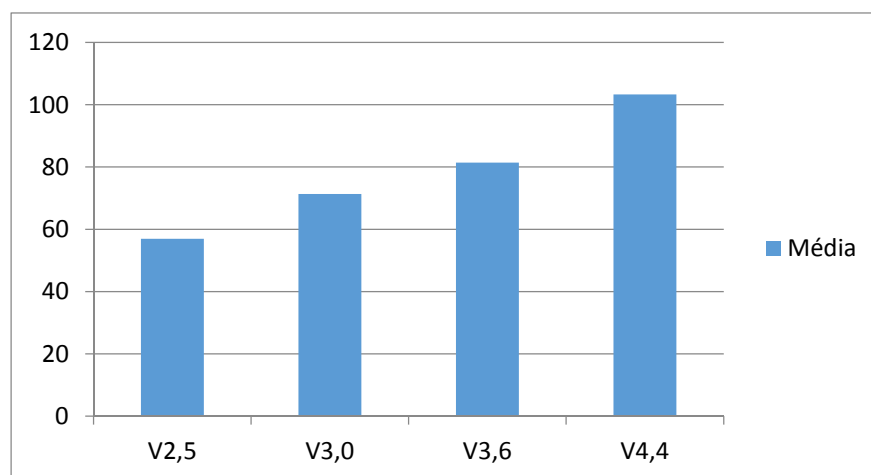


Figura 14: Gráfico dos valores de VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) na soma dos 3 eixos em cada tratamento

De acordo com Balbinot (2001), quando o valor de 8,5 $\text{m/s}^{1,75}$ é excedido existe a possibilidade de desconforto médio, já que esse parâmetro de avaliação indica a severidade da exposição à vibração. Deve-se ressaltar que não existe um consenso na comunidade científica da relação precisa entre VDV e o risco de ferimentos a que o corpo humano pode sofrer, sendo que durante o desempenho da atividade a campo valores de VDV em torno de 15 $\text{m/s}^{1,75}$ usualmente podem ocorrer em superfícies muito acidentadas, causando severo desconforto, dores e ferimentos. No presente estudo pode ser

observado que o valor de $8,5 \text{ m/s}^{1,75}$ foi excedido, excetuando-se a velocidade de deslocamento de $4,4 \text{ km/h}$ a qual não alcançou o valor de $15 \text{ m/s}^{1,75}$.

Em um experimento utilizando tratores realizado por Ribas *et al.* (2014), foram encontrados valores de VDV superiores a $8,5 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e no seu suporte. Os valores obtidos na pesquisa corroboram com aqueles apresentados pelo autor apenas na velocidade de $4,4 \text{ km/h}$, onde o valor de VDV máximo ficou na ordem de $10,40 \text{ m/s}^{1,75}$.

Os valores obtidos na pesquisa são menores do que aqueles obtidos por Metha *et al.* (2000), pois os autores encontraram variação nos valores de dose de vibração para oito horas de trabalho em torno de $15 \text{ m/s}^{1,75}$ durante o deslocamento do trator com arado e grade em modo de transporte nas velocidades de $6,00$ e $6,50 \text{ km/h}$ em estrada de asfalto.

Já em relação aos resultados obtidos de VDV nos eixos x, y e z (Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6), observou-se que o eixo x apresentou os maiores valores máximo, mínimo e médio. Mais uma vez esse resultado foi observado na maior velocidade de deslocamento ($V=4,4 \text{ km/h}$).

Sabe-se, no entanto, que os níveis de vibração podem ser influenciados pela pressão de inflação dos pneus e a sua interação com a velocidade de deslocamento e o pavimento do terreno, que pode ser constatado no estudo realizado por Hilbert *et al.* (2004), com um trator agrícola em pista indeformável, irregular e com buracos, utilizando quatro pressões de inflação ($82,7$; $110,3$; $151,6$ e $206,8 \text{ kPa}$) e três velocidades de trabalho (7 ; 12 e 20 km/h), demonstrando que as diferentes pressões influenciaram nos níveis das vibrações incidentes sobre o posto de trabalho.

Foi observado que os valores obtidos na pesquisa foram maiores do que aqueles apontados por Kroemer e Grandjean (2005) em ensaios sobre vibrações como demonstram a Tabela 4 (eixo x), Tabela 5 (eixo y). Os ensaios realizados pelos autores foram executados em relação ao tipo de máquina como tratores, caminhões e carros. Os valores obtidos em vários veículos motores revelaram que as acelerações das oscilações verticais estão entre $0,5$ e $5,0 \text{ m/s}^{1,75}$, com os valores mais altos registrados nas máquinas de movimentação de terra e nos tratores.

Tabela 4. Comparação dos valores VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) no eixo X

Tratamento	Média	DP	Mínimo	Máximo	Análise*
V2,5	3,33	2,22	3,01	3,48	a
V3,0	3,99	1,22	3,86	4,13	b
V3,6	4,73	1,88	4,56	4,96	c
V4,4	5,73	2,17	5,48	5,99	d

* Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significante entre linhas ao nível de 5% calculado por meio do teste Tukey.

Em uma pesquisa realizada por Pinho (2012) onde o autor avaliou a relação da lastragem do trator com os níveis de vibração em operação de escarificação, pode-se perceber que os valores de VDV obtidos no eixo x foram menores neste estudo, porém próximos àqueles apresentados pelo autor, que foram de $6,0 \text{ m/s}^{1,75}$ em média em cada tratamento. O autor observou ainda que essa relação se manteve com o aumento da profundidade de operação.

Roth (2010) também obteve maiores valores de vibração no eixo x, entre $0,63$ e $1,60 \text{ m/s}^{1,75}$. Foram valores mais baixos do que os apresentados na pesquisa, porém vale ressaltar que o autor realizou o ensaio em solo preparado. Isso pode ser atribuído ao fato de que uma pista de vibração normatizada proporcionar maiores níveis de vibração.

O resultado obtido também pode corroborar com os obtidos por Kumar *et al.* (2001), no qual os autores obtiveram em seus ensaios, valores de aceleração média entre $1,58$ e $4,57 \text{ m/s}^2$ em pista de vibração padronizada, estradas pavimentadas e terreno coberto por palhada. Os autores apontaram que ensaios de vibração realizados durante as operações agrícolas apresentam menores valores devido aos implementos atuarem como atenuadores da vibração.

Também pode ser observado, em uma pesquisa realizada por Santos (2002) utilizando um trator com potência no motor de $55,2 \text{ kW}$ (75 cv) com uma grade destorroadora-niveladora em superfície arada, que a magnitude de aceleração na direção vertical ao assento ficou em torno de $2,5 \text{ m/s}^{1,75}$. Nota-se que as diferentes superfícies do terreno influenciam nos níveis de vibração.

Vale ressaltar que os valores de inflação dos pneus não foram maiores dos que são recomendados pelo fabricante. Segundo Schlosser (2002), deve-se adotar em torno de 80 kPa como pressão mínima de trabalho para pneus diagonais e radiais, já que os pneus diagonais possuem um talão forte que diminui as deformações verticais, resultando em menor capacidade de absorção das imperfeições da superfície.

Porém, Nguyen e Inaba (2011) apontam que a utilização de pressão reduzida em seu experimento não afetou os valores de aceleração RMS, pois, a diminuição da pressão de inflação dos pneus não diminuiria os valores de vibração obtidos.

Sandi (2015) relata em sua pesquisa que os diferentes níveis de vibração não apresentaram diferença estatística significativa quando estiveram próximas daquelas recomendadas pelo fabricante, que foram de 82,73 kPa a 137,85 kPa em pneus dianteiros e de 110,31 kPa a 165,47 kPa em pneus traseiros.

Deve-se deixar claro que Franchini (2007), obteve resultados que demonstraram que a velocidade mais baixa e a maior pressão resultaram em melhor conforto, enquanto a velocidade mais alta tornou desconfortável a operação do trator, corroborando com os resultados obtidos nesta pesquisa e com aqueles descritos por Hilbert *et al.* (2004), que concluíram que as diferentes pressões de inflação dos pneus influenciaram na vibração que incidiu sobre o operador.

Tabela 5. Comparação dos valores VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) no eixo Y

Tratamento	Média	DP	Mínimo	Máximo	Análise*
V2,5	2,77	0,19	2,75	2,79	a
V3,0	3,70	1,15	3,55	3,83	b
V3,6	4,03	1,11	3,90	4,17	c
V4,4	5,46	1,07	5,32	5,58	d

* Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre linhas ao nível de 5% calculado por meio do teste Tukey.

Tabela 6. Comparação dos valores VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) no eixo Z

Tratamento	Média	DP	Mínimo	Máximo	Análise*
V2,5	2,70	1,28	2,57	2,88	a
V3,0	2,96	1,41	2,78	3,08	ab
V3,6	3,31	3,14	2,96	3,66	b
V4,4	4,27	2,67	4,00	4,62	e

* Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre linhas ao nível de 5% calculado por meio do teste Tukey.

A Tabela 7 apresenta uma comparação entre os valores de aceleração equivalente, na qual é evidenciada significativa diferença obtida entre os ensaios.

Tabela 7. Comparação dos valores de A_{EQ} (m/s^2) entre os tratamentos

Tratamento	Média	DP	Mínimo	Máximo	Análise*
V2,5	1,70	1,07	1,55	1,79	a
V3,0	1,96	0,33	1,94	2,01	b
V3,6	2,22	0,71	2,13	2,30	c
V4,4	2,67	0,05	2,67	2,68	d

* Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significante entre linhas ao nível de 5% calculado por meio do teste Tukey.

De acordo com os valores máximos obtidos de A_{EQ} na Tabela 7 e como aqueles descritos por Kroemer e Grandjean (2005), os quais relataram que quando o assento está sujeito a acelerações na ordem de $0,5 m/s^2$; e quando as acelerações atingem $2,5 m/s^2$, o número de erros torna-se tão grande que tais vibrações podem ser consideradas como perigosas, pode-se concluir que a velocidade de deslocamento de 4,4 km/h foi a que apresentou a condição mais desfavorável no deslocamento do trator.

Ao atingir valores de aceleração máxima como os que estão descritos na Tabela 8, aumentou-se os riscos ao operador, vindo a ser necessária a adoção de medidas que venham a amenizar os efeitos da vibração. Bouazara *et al.* (2006), obtiveram reduções nos valores de exposição a vibração por meio da utilização de assentos mais modernos dotados de suspensão.

No entanto, Paddan e Griffin (2002) afirmaram que são necessários cuidados, pois o assento de um veículo pode tanto reduzir quanto aumentar a vibração.

De acordo Cunha *et al.* (2012), a suspensão dos assentos possui mecanismos de molas e amortecedores que contribuem para a redução da vibração de corpo inteiro por meio do isolamento das vibrações, porém proporcionam baixas frequências de ressonância durante a atuação, podendo coincidir com a frequência de ressonância do corpo humano. Já a Tabela 8 demonstra a comparação entre os valores de aceleração máximos obtidos durante os ensaios. É saliente destacar que todos os resultados apresentaram diferenças estatísticas significantes.

Tabela 8. Comparação dos valores de $A_{\text{máx}}$ (m/s^2) entre os tratamentos

Tratamento	Média	DP	Mínimo	Máximo	Análise*
V2,5	2,81	0,72	2,74	2,91	a
V3,0	4,11	1,11	4,01	4,23	b
V3,6	4,22	2,45	3,97	4,49	bc
V4,4	5,75	3,19	5,41	6,10	d

* Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significante entre linhas ao nível de 5% calculado por meio do teste Tukey.

Em uma pesquisa analisando a interação de inflação do pneu, lastragem e velocidade de deslocamento de um trator ao longo de uma pista normatizada, Sandi (2015) relata que a velocidade e a quantidade de lastros influenciaram o comportamento do trator, onde a menor velocidade e a maior massa de lastragem ocasionaram os menores valores de aceleração máxima resultante, podendo ser atribuído a menor amplitude de movimentos do trator quando operado em determinadas condições.

Convém notar que os resultados das análises estatísticas obtidos para os valores de aceleração máxima de pico durante a medição (A_{mp}) apresentados na Tabela 9 expressam comportamento idêntico aos obtidos com a aceleração máxima, previamente explanada.

Tabela 9. Comparação dos valores de A_{mp} (m/s^2) entre os tratamentos

Tratamento	Média	DP	Mínimo	Máximo	Análise*
V2,5	5,06	2,07	4,77	5,21	a
V3,0	6,78	2,20	6,47	6,98	b
V3,6	6,94	2,88	6,72	7,37	bc
V4,4	10,12	2,91	9,76	10,40	d

* Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significante entre linhas ao nível de 5% calculado por meio do teste Tukey.

A comparação entre os valores de A_{min} exibida na Tabela 10 mostra que apenas o ensaio com $V=2,5\text{km/h}$ não apresenta similaridade estatística com os outros ensaios.

Os resultados de aceleração mínima obtidos na pesquisa puderam ser originados pela interação de todos os componentes que atuaram na máquina. Duke e Goss (2007) obtiveram até 22% de ganhos em capacidade de absorção das acelerações em assentos com diferentes tipos de suspensão, mostrando que o uso de sistemas de amortecimento na máquina pode vir a contribuir para a diminuição das vibrações que incidem sobre o operador.

Tabela 10. Comparação dos valores de A_{min} (m/s^2) entre os tratamentos

Tratamento	Média	DP	Mínimo	Máximo	Análise*
V2,5	0,584	2,05	0,387	0,863	a
V3,0	0,283	0,58	0,209	0,353	b
V3,6	0,194	0,18	0,179	0,216	b
V4,4	0,189	0,14	0,171	0,202	b

* Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre linhas ao nível de 5% calculado por meio do teste Tukey.

Fernandes *et al.* (2003), estudaram a vibração em tratores agrícolas, caracterizando-os por faixas de frequência no assento do operador. Os objetivos desse trabalho foram: caracterizar a faixa de frequência que apresenta os maiores picos de vibração vertical no assento do operador do trator e analisar o conforto do operador, comparando os níveis de vibração obtidos com as principais normas vigentes. Para os ensaios foi utilizado um trator de 75 cv e uma grade destorroadora-niveladora de 28 discos. O estudo concluiu que os valores de aceleração ponderada global, na faixa de 1,72 m/s² a 2,63 m/s², valores estes bem acima dos limites definidos pela norma ISO 2631, para uma jornada de trabalho de 8 horas diárias.

O tratamento estatístico realizado sobre os valores de Fator de Crista dos ensaios, apresentados na Tabela 11 mostram grande similaridade entre as análises, o que pode ser mais facilmente visualizado no gráfico exibido na Figura 15.

Tabela 11. Comparação dos valores de CF_{mp} entre os tratamentos

Tratamento	Média	DP	Mínimo	Máximo	Análise*
V2,5	0,93	0,96	0,81	1,05	a
V3,0	1,08	0,27	1,05	1,11	a
V3,6	0,98	0,28	0,95	1,01	a
V4,4	1,15	0,26	1,12	1,18	a

* Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre linhas ao nível de 5% calculado por meio do teste Tukey.

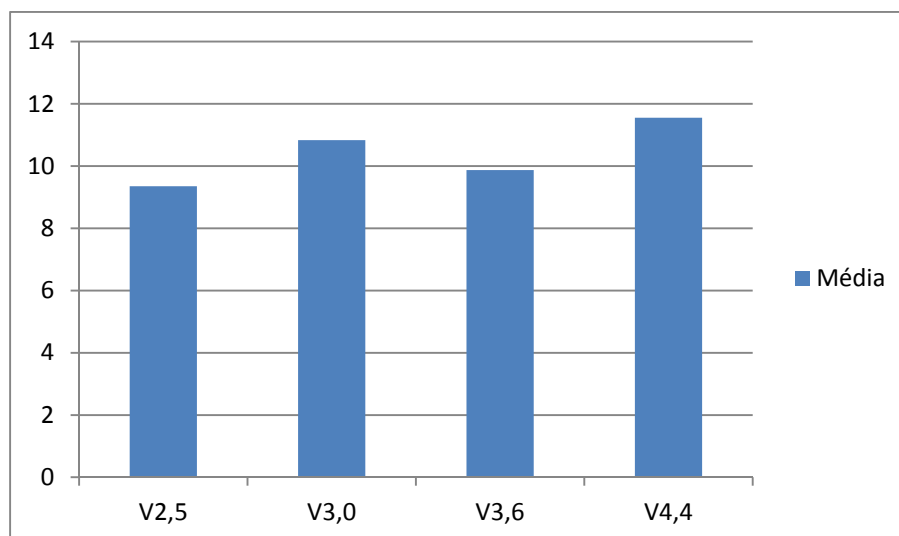


Figura 15: Gráfico da comparação dos valores de CF_{mp} entre os tratamentos

A análise estatística da dose equivalente de vibração para jornada de 8 horas é mostrada na Tabela 12.

Tabela 12. Comparação dos valores de A (8) entre os tratamentos

Tratamento	Média	DP	Mínimo	Máximo	Análise*
V2,5	0,56	0,05	0,48	0,60	a
V3,0	0,62	0,01	0,61	0,64	a
V3,6	0,71	0,02	0,68	0,74	b
V4,4	0,82	0,01	0,81	0,85	c

* Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre linhas ao nível de 5% calculado por meio do teste Tukey.

Por meio dos valores apresentados, é possível visualizar a variação crescente da dose equivalente com o aumento da velocidade de deslocamento do trator, como mostrado na Figura 16.

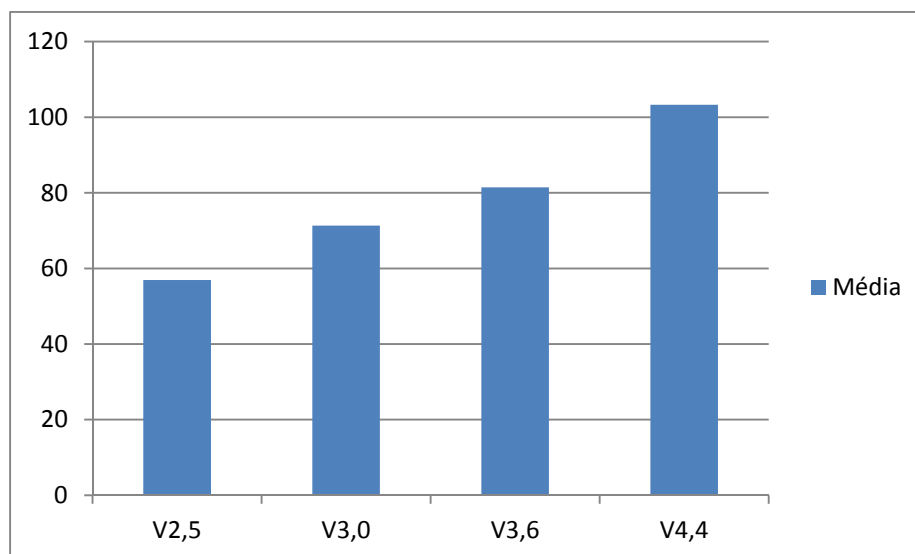


Figura 16: Gráfico dos valores de VDV na soma dos 3 em cada velocidade de deslocamento

Os valores obtidos de $A(8)$ corroboram com aqueles obtidos por Cunha *et al.* (2009). Os autores obtiveram resultados onde o limite para oito horas diárias de trabalho foi excedido, sendo que as piores situações ocorreram com as maiores acelerações ocorrendo no sentido de deslocamento do trator à medida que a rotação do motor foi aumentada.

Para evitar problemáticas como essa, Scarlett *et al.* (2007) relatam que a maioria das empresas fabricantes de tratores agrícolas incorporam e utilizam sistemas e mecanismos para reduzir o efeito das vibrações sobre o operador.

Marsili *et al.* (2002), demonstraram que a adoção de sistemas de suspensão permitem um incremento superior a 50% no tempo de exposição do operador ao trabalho. Já Lanças (2009) indicou que a utilização de tratores agrícolas em condições específicas de operação foi possível atingir as oito horas diárias de trabalho sem expor o trabalhador a altos níveis de vibração.

Os valores obtidos também estão de acordo com aqueles descritos por Tosin (2009), onde foi possível demonstrar que a vibração incidente sobre o operador está diretamente relacionada com a velocidade de deslocamento do trator, sendo que em seu experimento as velocidades médias utilizadas foram de 3,6 e 5,0 km/h permitindo uma jornada completa de 8 horas de trabalho, vale ressaltar que o ensaio foi executado em pista de concreto.

Para Metha *et al.* (2000), cada pesquisador possui uma visão diferente sobre qual o melhor procedimento para prever o desconforto ocasionado pela vibração em tratores agrícolas. Porém diante de tal afirmação deve-se deixar claro que é necessário adotar os limites preconizados pela NHO 09 (FUNDACENTRO, 2012).

5 CONCLUSÕES

Diante das análises realizadas, observou-se que os valores de dose de vibração às quais o operador do equipamento encontra-se sujeito foram crescentes com o aumento da velocidade de deslocamento do trator.

As velocidades mais baixas de deslocamento do trator contribuíram para as melhores condições de conforto em relação a vibração do corpo do operador.

Os valores de dose de vibração às quais o operador encontra-se exposto foram crescentes com o aumento da velocidade de deslocamento do trator.

O eixo x (longitudinal) foi o que apresentou os maiores valores de dose de vibração.

A Dose Equivalente de Vibração (A8) para jornada de 8 horas não apresentou diferença estatística entre os valores de 2,5 e 3,0 km/h

Os valores de Fator de Crista não apresentaram diferença estatística entre as velocidades de deslocamento.

Os valores da aceleração máxima e mínima, aceleração equivalente ponderada e a aceleração média (RMS) ponderada tiveram seus maiores valores na velocidade de operação de 4,4 km/h.

Estatisticamente a velocidade de 2,5 km/h foi a que apresentou o menor valor de Aceleração Mínima comparado com os demais valores de velocidade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONÇO, A. S. **Metodologia de projeto para a concepção de máquinas agrícolas seguras**. 2004. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

ADACHI, H.; et al.. Reduction of vibration and noise of tractor cabin using active mass damper. **JSAE Review, Tokyo** : Society of Automotive Engineers of Japan, inc., 1996;17. 91-91.

ANFLOR, C. T. M.. **Estudo da transmissibilidade da vibração no corpo humano na direção vertical e desenvolvimento de um modelo biomecânico de quatro graus de liberdade**. 2003. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

AREND, L.; FORCELLINI, F. A.; WEISS, A.. Desenvolvimento e testes de uma semeadora-adubadora modular para pequenas propriedades rurais. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal - São Paulo, 2005, vol.25, n.3, pp. 801-808. ISSN 0100-6916.

BACK, N.. Metodologia de projetos de produtos industriais. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. 389 p.

BALBINOT, A. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: Um enfoque no conforto e na saúde.** 2001. 281 f. Tese (Doutorado em Biomecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BARCELÓ, L. E. et al.. **Efecto de diferentes presiones de inflado y regulaciones de lasiento sobre las vibraciones de cuerpo entero em tractores agrícolas.** Instituto de Ingenieria Rural Inta Cautelar, Hurlingham - Província de Buenos Aires. 2004. 10p.

BECKER, T.. **Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano.** 2006. 198f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.

BERASATEGUI, M. R.. Modelización y simulación del comportamiento de um sistema mecánico con suspensión aplicado a los asientos de los tractores agrícolas. 2000. 259 f. Tese (Doctorado en Ingenieria Mecánica) – Departamento de Ingenieria Mecánica, Universidad Politécnica de Madri, Madri, 2000.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Decreto-lei n.º 5.452. Artigo nº 192 Consolidação das Leis do Trabalho. Diário Oficial da União, Brasília, 1º de maio de 1943. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del5452.htm. Acesso em 20 out. 2015

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil - DECRETO Nº 93413 de 15 de outubro de 1986. Publicado no DOU de 15/10/86. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D93413.htm Acesso em: 10 jun. 2015

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria Nº. 25 de 29/12/1994. Norma Regulamentadora Nº. 9: Programas de Prevenção de Riscos Ambientais. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez 1994, republicada em 15 fev 1995. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr9.htm>. Acesso em 20 out. 2015

BRASIL. Ministério da Previdência Social. Instituto Nacional de Seguridade Social - SISLEX - Legislação Previdenciária – Decreto Nº 3.048 - de 6 de maio de 1999 (DOU

86 DE 07/05/99-SÇ-I-PG. 50/108) -Republicado 12/05/99. Disponível em:

<http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/23/1999/3048_1.htm> Acesso em: 25 mar. 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria MTE n.º 86, de 03 de março de 2005. Norma Regulamentadora N.º. 31: Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária silvicultura, exploração florestal e aquicultura. Diário Oficial da União, Brasília, 04 mar 2005. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR31.pdf>. Acesso em 13 out. 2015

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR – 15: Operações e atividades insalubres. Anexo N.º 8, redação dada pela Portaria MTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014. Disponível em: [http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14CDC9C6FC1/NR-15%20\(Anexo%20n.%C2%BA%2008\)%20Vibra%C3%A7%C3%B5es%20\(2014\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14CDC9C6FC1/NR-15%20(Anexo%20n.%C2%BA%2008)%20Vibra%C3%A7%C3%B5es%20(2014).pdf). Acesso em 13 jun.2015

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR – 12: Segurança do trabalho em máquinas e equipamentos. Portaria MTE n.º 857, de 26 de junho de 2015. Disponível em: www.legisweb.com.br/legislacao/?id=286177. Acesso em 13 out.2015

BRUEL & KAJER. Human Vibration, Booklet, 1988, 32 p.

CAÑAVATE, J. O.. **Técnica de la mecanización agraria: tractores i aperos de lambranza y de cultivo**. Madrid: Ministerio de agricultura. Imprenta Aguirre. 1975. 324p. ISBN 84-500-7341-3.

CAÑAVATE, J. O.. **Tractores. Técnica y Seguridad**. Madrid: Mundi-Prensa Libros S.A, 2005. 212p.

CUNHA, I. A., Exposição Ocupacional às Vibrações Mecânicas: Considerações sobre os Principais Critérios Legais e Técnicos. In: **Revista ABHO de Higiene Ocupacional**

ano III- Nº 8 – março 2004 – Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais, 24p., p9-12.

CUNHA, J. P. A. R. DA; DUARTE, M. A. V.; SOUZA, C. M A. DE. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. **IDESIA**. Tarapacá (Chile) Volumen 30, Nº 1, Enero-Abril, 2012

CHANEY, R. E.. **Subjective reaction to wholebody vibration**. Boeing Company, Human Factors Technical Report D3, p. 64-67, Wichita, Kansas. 1964.

CORRÊA, I.M., RAMOS, H.H. Acidentes rurais. **Cultivar Máquinas**. no 16. p. 24-25. 2003.

CUNHA, J. P. A. R. da; DUARTE, M. A. V.; RODRIGUES, J. C. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (UFG), v. 39, p. 348-355, 2009.

DEBIASI, H.; SCHLOSSER, J. F.; WILLES, J. A. Acidentes de trabalho envolvendo conjuntos tratorizados em propriedades rurais do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 34, n: 3, p. 779-784, 2004.

DHINGRA, H. S.; TEWARI, V.K.; SANTOKH, S. Discomfort, pressure distribution and Safety in operators seat – a critical review. **Journal of scientific research and development**. Silsoe, 2003. 16p.

DUKE M, GOSS G. Investigation of tractor driver seat performance with non-linear stiffness and on-off damper. **Biosystems Engineering**. UK. 2007;96(4):477–86.

FERNANDES, H. C., et al.. Vibração em tratores agrícolas: caracterização das faixas de frequência no assento do operador. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa. v. 11, n. 1-4, p. 23-31. Jan-dez. 2003.

FIEDLER, N. C. Avaliação ergonômica de máquinas utilizadas na colheita de madeira. (Tese de Mestrado).Viçosa, UFV, 1995. 126 p.

FUNDACENTRO.Norma de Higiene Ocupacional NHO 09: **Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro**. Procedimento técnico. São Paulo. 63p. 2012

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

FRANCHINI, D. **Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GRIFFIN, M. J. A comparison of standardized methods for predicting the hazards of whole-body vibration and repeated shocks. **Journal of Sound and Vibration**, Silsoe- UK, p. 883-914. 1998.

HILBERT, J.; BARCELÓ, L.; AUCANA, M.. Estudio de impacto utilizando diferentes presiones de inflado sobre las vibraciones de cuerpo intero en tractores agrícolas. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33. 2002. São Pedro, SP. **Anais**. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. CD Rom.

ILO –International Labour Organization – Convenção nº148. Contaminação do Ar, Ruído e Vibrações. Genebra, 1977. Disponível em: <<http://www.ilo.org/public/portugue/region/ampro/brasil/inf/download/convencao148.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2015

IIDA, I. Ergonomia: Projeto e Produção - 2ª edição. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. v. 1. 614p .

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **2631-1 “Guide for evaluation of human exposure to whole-body vibration”**. Geneva, Switzerland: International Standard, 1978.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). 2631-1 “Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to wholebody vibration – Part I: general requirements”. Geneva, Switzerland: International Standard, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). 5008:2002. Agricultural wheeled tractors and field machinery – measurement of whole-body vibration of the operator. Geneva, Switzerland, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 8041 – Resposta humana à vibração – Instrumento de medição**. Geneva, Switzerland, 2005. 91 p.

INTERSIL. Principles of Data Acquisition and Conversion. **Application Note**.1986 AN002.24p.Disponívelem:<<http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/an00/an002.pdf>>. Acesso em: 14 de fev 2015.

KRISHNAN, G.; KSHIRSAGAR, C. U.; ANANTHASURESH, G. K.; BHAT, N. Micromachined high-resolution accelerometers. *J. Indian Institute of Science*. v. 87, n. 3, 2007.

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

KUMAR, A., et al.. Tractor vibration severity a driver healt: a study from rural India. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Pavia, Italy, 2001. 80 (4): 313–328.

LANÇAS, K. P.; UPADHYAYA, S. K. **Pneus radiais para tratores: Guia para a seleção correta da pressão de inflação**. Energia na Agricultura, FCA/UNESP, Botucatu, 1997. 33p. Boletim Técnico no 1.

MARSILI, A. et al. Innovative Systems to reduce Vibrations on Agricultural Tractors: Comparative Analysis of Acceleration transmitted through the Driving Seat. **Biosystems**

Engineering. UK. (2002). v. 81, pp: 35 – 47. doi:10.1006/bioe.2001.0003. ISSN: 1537-5110

MEHTA, C. R.; TEWARI, V. K.. Seating discomfort for tractor operators: a critical review. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Silsoe - UK, p. 661-674. 2000.

MIALHE, L. G.. **Máquinas Motoras na Agricultura**. Piracicaba: EDUSP, 1980. Vol. 1 e 2.

MONTEIRO, L. De A. **Desempenho operacional e energético, segundo a norma OCDE – CODE 2 de dois tratores agrícolas 4x2 TDA com motores de 132 kW em pista de concreto e solo agrícola**. Tese (Doutorado) UNESP. Botucatu. 2011. 85p.

NAGAOKA, A. K.; et al.. Projeto, construção e avaliação de um equipamento para ensaio dinâmico de pneu agrícola individual. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 2002.

NGUYEN, V. N.; INABA, S. Effects of tire inflation pressure and tractor velocity on dynamic wheel load and rear axle vibrations. **Journal of Terramechanics**, Silsoe – UK. v. 48, n. 1, p. 3-16, 2011. ISSN: 0022-4898

PADDAN, G. S., GRIFFIN, M. J. 2002 Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. **Journal of Sound and Vibration**. v.253 (1). pp: 215-241. Sheffield-UK.

PRASAD, N.; TEWARI, V. K.; YADAV, R.. Tractor ride vibration: a review. **Journal of Terramechanics**, Silsoe - UK, p. 205-219. 1995.

PINHO, M. DA S.; et al.. Efetividade de um coxim de cabina do trator agrícola na atenuação das vibrações. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 461-468, jul-set, 2014 Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE ISSN 1806-6690.

PINHO, M. DA S.; et al.. Acelerações eficazes na interface assento-operador de um trator. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.10, p.1797-1803, out, 2014. ISSN 0103-8478

RIBAS, R. L.; et al.. Exposição humana à vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola com pneus radiais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.9, p.1589-1595, set, 2014. ISSN 0103-8478

ROBIN, P. Segurança e ergonomia em maquinaria agrícola. São Paulo, IPT, 1987. 24 p.

ROLDÁN, G. B.; ROMERO, J. R. J.; RIBES, J. G. Vibración en los asientos de tractores agrícolas. **Revista Vida Rural**, Ed. Eumedia, Madrid, 1999.

ROTH, C.W. **Transmissibilidade da vibração e distribuição da pressão na interface assento-operador de tratores agrícolas em condições dinâmicas**. 2010. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

ROZIN, D. **Conformidade do posto de operação de tratores agrícolas nacionais com normas de ergonomia e segurança**. 2004. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SALIBA, T. M.; CORRÊA, M. A. C.; AMARAL, L. S.. **Higiene do trabalho**: Programa de prevenção de riscos ambientais. 3. ed. São Paulo: Ltr, 2002. 262 p.

SANDI, J. **Vibração incidente sobre o corpo inteiro do operador de trator agrícola ensaiado em pista de vibração com diferentes lastros, velocidades e pressões de inflação dos pneus**. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós Graduação em energia na Agricultura, Faculdade de Ciencias Agronomicas da UNESP, Campus de Botucatu. 2015.

SANTOS, P. F. **Avaliação dos níveis de ruído e vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados.** 2002. 53p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós Graduação em Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

SANTOS, L. N. dos; et al.. **Avaliação dos níveis de ruído e vibração de um conjunto trator-pulverizador em função da velocidade de trabalho.** Viçosa: Engenharia na Agricultura, v. 22, n. 2, 2014.

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.** Silsoe – UK. v. 44. pp: 65-73. 2007. ISSN: 0022-4898

SCHLOSSER, J.F. **Máquinas agrícolas** A. Santa Maria: UFSM, 2002. 207 p.

SELL, I.. **Projeto do trabalho humano:** Melhorando as condições de trabalho. Florianópolis: UFSC, 2002. 470 p.

SERVADIO, P.; MARSILI, A.; BELFIORE, E N.P.. Analysis of the driving seat vibrations in high forward speed tractors. **Biosystems Engineering,** Amsterdã –ND, 2007, 97 (2): 171–180.

SENSORMAG. Acceleration and Vibration. **A Practical Approach to Vibration Detection and Measurement Part 1: Physical Principles and Detection Techniques.** 1999.Disponívelem:<<http://www.sensorsmag.com/sensors/acceleration-vibration/apractical-approach-vibration-detection-and-measurement-par-951>>. Acesso em: 14 de fev 2015.

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. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000100023>>. Acesso em: 14 de fev 2015.

SOEIRO, N.S.. Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação ocupacional. **I Workshop de Vibrações e Acústica**. Tucuruí.2011. 10 p.

TOSIN, R. C. **Avaliação do ruído e da vibração no posto de trabalho em dois tratores agrícolas**. 2009. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, 2009.

YADAV, R.; TEWARI, V. K.. Tractor operator seat workplace design: a review. **Journal of Terramechanics**, Silsoe - UK, p. 41-53. 1998.

YADI, N.; AYAZI, F.; NAJAFI, K. Micromachined inertial sensors. **Proceedings of the IEEE**, v. 86, n. 8, p. 1640–1659, August 1998.

XIMENES, G. M. **Gestão Ocupacional da Vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança**. 2006. 158 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão). Universidade Federal Fluminense, 2006.

ZEHS AZ, M., et al.. Tractor cabin's passive suspension parameters optimization via experimental and numerical methods. **Journal of Terramechanics**, Amsterdã, 2011. 48, 439–450.

ANEXO 1

Os documentos em anexo apresentam os certificados de calibração do sensor piezelétrico empregados na pesquisa (SEN027-CBL) associados ao registrador e medidor de vibração HVM-100.

 GROM ACÚSTICA & VIBRAÇÃO	REGISTRO DE ENTRADA E SAÍDA DE EQUIPAMENTOS	Documento FOR-C507	Revisão 02
		Emissão Jan/07	Página 1/ 1

Entrada				Nº Doc: COM-11193-13	
Cliente: JOÃO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS				Nº: 7227	
Data: 10/07/13	N Fiscal: ---		Recebido: JJL		
☒ Venda	☐ Locação	☐ Manutenção	Vistoriado: JJL		
Equipamento	Qtd	Fabricante	Modelo	Número de série	
☒ Analisador ☐ MPS ☐ Dosímetro	1	6	HVM100	2291	
☐ Microfone	---	---	---	---	
☐ Pré-amplificador	---	---	---	---	
☒ Cabo / Interface	3	6	CBL006 / CBL158/ Conector USB/Serial	2247ATRCU791102577	
☐ Windscreen	---	---	---	---	
☐ Fonte de Alimentação	---	---	---	---	
☒ Case / Maleta	1	6	CCS-001	---	
☒ Estojo	1	6	CCS-028	---	
☒ Bateria / Pilha	2	---	AA	---	
☒ CD	2	6	HVM 100 / Blaze	Vers. 6.1.1	
☒ Certificado	3	6	HVM100	2013175021	
☒ Adaptador	3	6	ADP060 /ADP061 /ADP062	---	
☒ Base	---	---	---	---	
☒ Acelerômetro	2	6	SEN021F / SEN027	P141400/P0145464	
☒ Chave allen	1	6	---	---	
☒ Fita Velcro	1	6	---	---	
1-01dB 2-Bruel & Kjaer 3-Cell 4-Cesva 5-Gras 6-Larson Davis 7-Minipa 8-Norsonic 9-PCB 10- Quest 10-Rion 11- Svanotech 12-outros (especificar) 13- Acoustic Camera 14- Dactron 15- Dytran 16- ESI 17- Head Acoustic 18- Micro Flow 19- Sound Plan					
OBS:					
Saída				Nº Doc: COM-06-5346-13	
Data: 12/07/13	N Fiscal:		Liberado: JJL		
Transportador: Sedex			Enviado: JJL		
Ass do Cliente:					
Prezado cliente, caso identifique alguma violação na embalagem, dano de qualquer natureza ou faltando algum item, favor entrar em contato imediatamente com a GROM, tel (21) 2516-0077.					

	REGISTRO DE ENTRADA E SAÍDA DE EQUIPAMENTOS	Documento FOR-C507	Revisão 02
		Emissão Jan/07	Página 1/ 1

Entrada		Nº Doc: COM-11193-13	
Cliente: JOÃO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS		Nº: 7227	
Data: 10/07/13	N Fiscal: ---	Recebido: JJJ	
☒ Venda	☐ Locação	☐ Manutenção	Vistoriado: JJJ
Equipamento	Qtd	Fabricante	Modelo
☒ Analisador ☐ MPS ☐ Dosímetro	1	6	HVM100
☐ Microfone	---	---	---
☐ Pré-amplificador	---	---	---
☒ Cabo / Interface	3	6	CBL006 / CBL158/ Conector USB/Serial
☐ Windscreen	---	---	---
☐ Fonte de Alimentação	---	---	---
☒ Case / Maleta	1	6	CCS-001
☒ Estojo	1	6	CCS-028
☒ Bateria / Pilha	2	---	AA
☒ CD	2	6	HVM 100 / Blaze
☒ Certificado	3	6	HVM100
☒ Adaptador	3	6	ADP060 /ADP061 /ADP062
☒ Base	---	---	---
☒ Acelerômetro	2	6	SEN021F / SEN027
☒ Chave alien	1	6	---
☒ Fita Velcro	1	6	---
1-01dB 2-Bruel & Kjaer 3-Cell 4-Cesva 5-Gras 6-Larson Davis 7-Minipa 8-Norsonic 9-PCB 10-Quest 10-Rion 11-Svantech 12-outros (especificar) 13-Acoustic Camera 14-Dactron 15-Dytran 16-ESI 17-Head Acoustic 18-Micro Flaw 19-Sound Plan			

OBS:

Saída		Nº Doc: COM-06-5346-13
Data: 12/07/13	N Fiscal:	Liberado: JJJ
Transportador: Sedex		Enviado: JJJ
Ass do Cliente:		

Prezado cliente, caso identifique alguma violação na embalagem, dano de qualquer natureza ou faltando algum item, favor entrar em contato imediatamente com a GROM, tel (21) 2516-0077.

~ Calibration Certificate ~

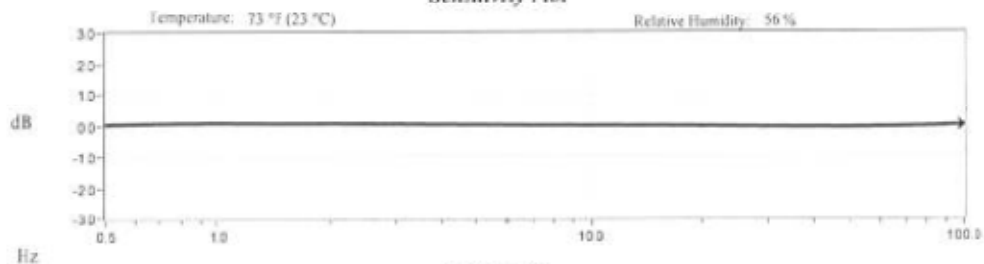
Per ISO 16063-21

Model Number: SF/N027Serial Number: P145464 (x axis)Description: ICP® Triaxial AccelerometerManufacturer: PCBMethod: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz 102.9 mV/g Output Bias 4.0 VDC
 (10.49 mV/m/s²) Transverse Sensitivity 1.1 %

Sensitivity Plot



Data Points

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
0.5	0.5	10	0.1	70	-0.5
1	1.0	15	-0.1	REF. FREQ.	0.0
2	0.8	20	-0.2		
3	0.4	30	-0.5		
7	0.2	50	-0.7		

Mounting Surface: Aluminum Foam Fastener: Steel
 Acceleration Level (g): 1.0g (9.81 m/s²)

Fixturing Orientation: Uniaxial Vertical

The acceleration level may be known by static displacement at low frequencies. If the listed level cannot be obtained, the calibration company uses the following formula to set the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 9.81 * (mm/g) / (mm/s²)

Condition of Unit

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

Notes

1. Calibration is traceable to one or more of the following: PTB 10065, PTB 10066 and NIST 683/283498.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 9001, ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.
5. Measurement uncertainty (95% confidence level with coverage factor of 2) for frequency ranges tested during calibration are as follows: 0.5-0.99 Hz; +/- 1.8%, 1-30 Hz; +/- 1.0%, 30.01-199 Hz; +/- 1.5%, 200-1 kHz; +/- 3.0%.

Technician: Mike Ferrio MAFDate: 4/18/2013

CALIBRATION CERT #1062 01
 PAGE 1 of 2

PCB PIEZOTRONICS
 VIBRATION DIVISION

3425 Walden Avenue Depew, NY 14043

TEL: 888-684-0013

FAX: 716-685-3355

www.pcb.com

CAL28-0440004-23000

ACS-17



~ Calibration Certificate ~

Per ISO 15063-21

Model Number: SEN027Serial Number: P145464 (x axis)Description: ICP® Triaxial AccelerometerManufacturer: PCBMethod: Back-to-Back Comparison A7401-12

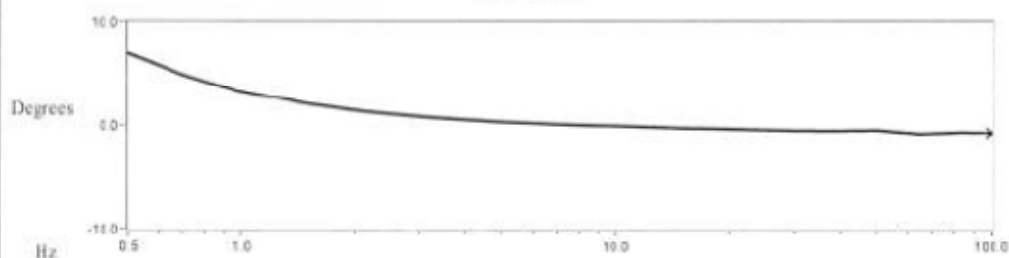
Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz

102.9 mV/g

(10.49 mV/m/s²)

Phase Plot



Data Points

Frequency (Hz)	Phase (°)	Frequency (Hz)	Phase (°)
0.5	6.9	30	-0.6
1	3.3	50	-0.5
2	1.4	70	-0.9
5	0.3	REF. FREQ.	-0.8
7	0.0		
10	-0.1		
15	-0.3		
20	-0.4		

Notes

1. Calibration is traceable to one or more of the following: PTB 10065, PTB 10066 and NIST 683/283498.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 9001, ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.

Technician: Mike Ferrio MAFDate: 4/18/2013

PCB PIEZOTRONICS
VIBRATION DIVISION

3425 Walden Avenue Depew, NY 14041

TEL: 888-454-0013 FAX: 716-685-3886 www.pcb.com

PAGE 2 OF 2

CAL20-10000064-21P-0

AC3-17



~ Calibration Certificate ~

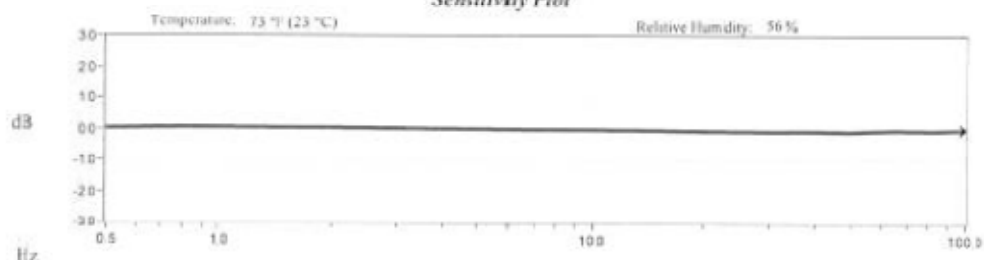
Per ISO 10063-27

Model Number: SEN027Serial Number: P145464 (y axis)Description: ICP® Triaxial AccelerometerManufacturer: PCBMethod: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz 100.0 mV/g Output Bias 4.0 VDC
 (10.20 mV/m/s²) Transverse Sensitivity 3.3 %

Sensitivity Plot



Data Points

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
0.5	0.3	10	-0.1	70	-0.3
1	0.7	15	-0.2	REF. FREQ.	0.0
2	0.5	20	-0.5		
5	0.1	30	-0.7		
7	-0.1	50	-0.8		

Mounting Surface: Aluminum Frame Fixture: Steel
 Acceleration: 20.0 (g)
 The workpiece level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the load level cannot be obtained, the calibration system uses the following formula to set the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 0.10 x (f/g)

Proven Orientation: Vertical

Condition of Unit

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

Notes

1. Calibration is traceable to one or more of the following: PTB 10065, PTB 10066 and NIST 683/283498.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 9001, ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.
5. Measurement uncertainty (95% confidence level with coverage factor of 2) for frequency ranges tested during calibration are as follows: 0.5-0.99 Hz; +/- 1.8%, 1-30 Hz; +/- 1.0%, 30.01-199 Hz; +/- 1.5%, 200-1 kHz; +/- 3.0%.

Technician: Mike Ferrio *MAF*Date: 4/18/2013

PCB PIEZOTRONICS
 VIBRATION DIVISION

3425 Walden Avenue Depew, NY 14043
 TEL: 888-614-0013 FAX: 716-685-3886 www.pcb.com

1.6126-1449114-000000



~ Calibration Certificate ~

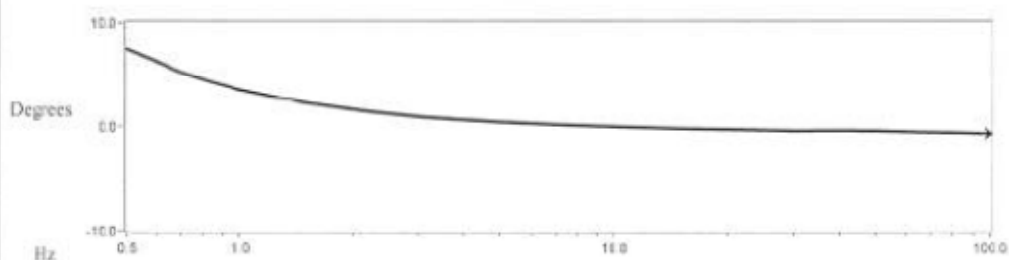
Per ISO 15053-21

Model Number: SEN027Serial Number: P145464 (y axis)Description: ICP® Triaxial AccelerometerManufacturer: PCBMethod: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz 100.0 mV/g (10.20 mV/m/s²)

Phase Plot



Data Points

Frequency (Hz)	Phase (°)	Frequency (Hz)	Phase (°)
0.5	7.4	30	-0.5
1	3.5	50	-0.5
2	1.5	70	-0.6
3	0.3	REF. FREQ.	-0.8
7	0.1		
10	-0.1		
15	-0.3		
20	-0.4		

Notes

1. Calibration is traceable to one or more of the following: PTB 10065, PTB 10066 and NIST 683/283498.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 9001, ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.

Technician: Mike FerrioDate: 4/18/2013

PCB PIEZOTRONICS™
VIBRATION DIVISION

3425 Walden Avenue Depew, NY 14041

TEL: 888-684-0013 FAX: 716-685-3885 www.pcb.com

P145464-2

CAL20-040704030-00010

~ Calibration Certificate ~

Per ISO 18003-21

Model Number: SEN027Serial Number: P145464 (z axis)Description: ICP® Triaxial AccelerometerManufacturer: PCBMethod: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz 101.4 mV/g Output Bias 3.9 VDC
 (10.34 mV/m/s²) Transverse Sensitivity 1.2 %

Sensitivity Plot



Data Points

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
0.5	1.8	10	1.1	70	0.3
1	2.1	15	1.0	REF. FREQ.	0.0
2	1.8	20	0.8		
5	1.4	30	0.5		
7	1.2	50	0.2		

Mounting Surface: Aluminum Inverse Fixturing: Steel
 Acceleration Level: 10g (9.81 m/s²)

Fixturing Orientation: Vertical

The acceleration level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the desired level cannot be obtained, the calibration system uses the following formula to set the calibration amplitude: Acceleration Level (g) = 0.185 x (freq)^{1.5}
 The gravitational constant used for calculations by the calibration system is: 1 g = 9.80665 m/s²

Condition of Unit

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

Notes

1. Calibration is traceable to one or more of the following: PTB 10065, PTB 10066 and NIST 683/283498.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 9001, ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.
5. Measurement uncertainty (95% confidence level with coverage factor of 2) for frequency ranges tested during calibration are as follows: 0.5-0.99 Hz: +/- 1.8%, 1-30 Hz: +/- 1.0%, 30.01-199 Hz: +/- 1.5%, 200-1 kHz: +/- 3.0%.

Technician: Mike Ferrio *MAF*Date: 4/18/2013

CALIBRATION CERT #1942-B

PAGE 1 OF 2

PCB PIEZOTRONICS
 VIBRATION DIVISION

1425 Wallen Avenue Depew, NY 14043

TEL: 888-684-0011 FAX: 716-655-3886 www.pcb.com

CALIBR-0000-0001-0001

ACS-17



~ Calibration Certificate ~

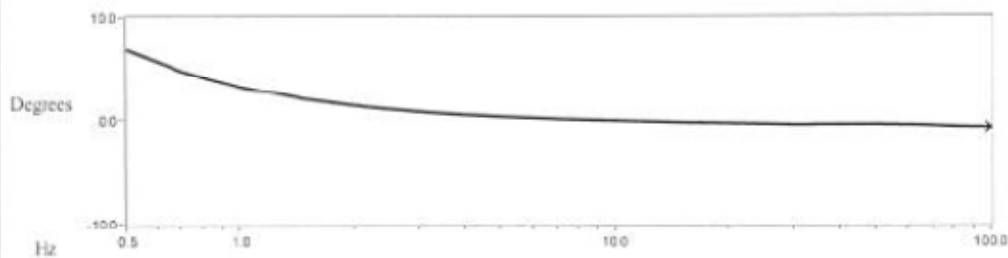
Per ISO 18063-21

Model Number: SEN027Serial Number: P145464 (z axis)Description: ICPE Triaxial AccelerometerManufacturer: PCBMethod: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz 101.4 mV/g (10.34 mV/m/s²)

Phase Plot



Data Points

Frequency (Hz)	Phase (°)	Frequency (Hz)	Phase (°)
0.5	6.8	30	-0.5
1	3.2	50	-0.5
2	1.4	70	-0.6
5	0.3	REF. FREQ.	-0.8
7	0.0		
10	-0.1		
15	-0.3		
20	-0.4		

Notes

1. Calibration is traceable to one or more of the following: PTB 10065, PTB 10066 and NIST 683/283498.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 9001, ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.

Technician: Mike Ferrio MAFDate: 4/18/2013

PCB PIEZOTRONICS
VIBRATION DIVISION

3425 Walden Avenue Depew, NY 14043

TEL: 833-484-0013

FAX: 716-635-3330

www.pcb.com

PAGE 2 of 2

CALIB-DWG 08/03/13/13

ACS-17



Model Number SEN027		TRIAXIAL ICP® SEATPAD ACCELEROMETER (ISO10326-1)		Revision: A	
DYNAMIC PERFORMANCE					
Voltage Sensitivity	100 [10, 2]	mV/g [mV/ms ⁻²]	(±10%)		
Measurement Range (±5%)	10 [96]	kg pk [ms ⁻² pk]			
Frequency Range (±5%)	0.5 to 1000	Hz			
Resonant Frequency	≥ 27	kHz			
Bandwidth Resolution (1Hz to 10kHz)	0.0002 [0.002]	g rms [ms ⁻² rms]	(1)		
Amplitude Linearity	≤ ±1	%	(2)		
Transverse Sensitivity	≤ 5	%			
ENVIRONMENTAL					
Shock Limit - All Axes (maximum)	2,000 [19, 620]	±9 pk [ms ⁻² pk]			
Operating Temperature Range	+14 to 122 [-10 to 50]	°F [°C]			
Temperature Response	< 0.10	%/°F [%/°C]	(1)		
ELECTRICAL					
Excitation Voltage/Constant Current	6.5 to 30 / 0.1 to 10	VDC/mA			
Output Impedance	< 500	ohms			
Output Bias	2.0 to 4.5	VDC			
Discharge Time Constant	1.0 to 3.0	sec			
Warm Up Time (within 10% of output bias)	< 20	sec			
Special Noise	(1 Hz)	20 [500]	pg/√Hz [(ms ⁻²)/√Hz]	(1)	
	(10 Hz)	10 [36]	pg/√Hz [(ms ⁻²)/√Hz]	(1)	
	(100 Hz)	4 [33]	pg/√Hz [(ms ⁻²)/√Hz]	(1)	
	(1 kHz)	2 [29]	pg/√Hz [(ms ⁻²)/√Hz]	(1)	
MECHANICAL					
Sensing Element	Ceramic/Shear	material/geometry			
Housing	Titanium-Hermetic	material/sealing			
Size (Clamshell x width)	7.87 x 0.472 [200 x 12]	in [mm]			
Weight	9.6 [272]	oz [gm]	(1)		
Electrical Connector	Integral cable side	typification			
Cable Termination	1/4-28 4-Pin Jack				
Cable Length	5 [15]	ft [m]			
Cable Type	010 4-cond shielded				
Mounting Thread	10-32 Female				
NOTES: [1] Typical [2] Zero-based, least-squares, straight line method [3] See PCB Declaration of Conformance P1027 for details					
SUPPLIED ACCESSORIES: NIST Traceable Calibration Certificate					
					

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

APÊNDICE 1

Segue a análise estatística realizada sobre os dados coletados nos levantamentos experimentais.

A. Análise estatística realizada na comparação dos valores de VDV na soma dos 3 eixos em cada tratamento

	EML	ERN	V2.5	V3.0	V3.6	V4.4
Number of values	2	3	4	4	4	4
Minimum	6,870	1,890	50,80	70,40	78,20	102,0
25% Percentile	6,870	1,890	52,63	70,65	78,90	102,3
Median	7,480	4,690	58,65	71,55	81,70	103,5
75% Percentile	8,090	5,060	59,50	71,78	83,68	104,0
Maximum	8,090	5,060	59,60	71,80	84,10	104,0
Mean	7,480	3,880	56,93	71,33	81,43	103,3
Std. Deviation	0,8627	1,733	4,132	0,6397	2,496	0,9574
Std. Error	0,6100	1,001	2,066	0,3198	1,248	0,4787
Lower 95% CI	-0,2708	-0,4257	50,35	70,31	77,45	101,7
Upper 95% CI	15,23	8,186	63,50	72,34	85,40	104,8
Table Analyzed				VDV		
One-way analysis of variance						
P value				< 0.0001		
P value summary				***		
Are means signif. different? (P < 0.05)				Yes		
Number of groups				6		
F				923,2		
R squared				0,9968		
ANOVA Table				SS	df	MS
Treatment (between columns)				24820	5	4964
Residual (within columns)				80,65	15	5,376
Total				24900	20	
Tukey's Multiple Comparison Test				Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?
EML vs ERN				3,600	2,405	No
EML vs V2.5				-49,45	34,82	Yes
EML vs V3.0				-63,85	44,96	Yes
EML vs V3.6				-73,95	52,08	Yes
EML vs V4.4				-95,77	67,45	Yes
ERN vs V2.5				-53,05	42,36	Yes
ERN vs V3.0				-67,45	53,86	Yes
ERN vs V3.6				-77,55	61,93	Yes
ERN vs V4.4				-99,37	79,35	Yes
V2.5 vs V3.0				-14,40	12,42	Yes
V2.5 vs V3.6				-24,50	21,13	Yes
V2.5 vs V4.4				-46,33	39,96	Yes
V3.0 vs V3.6				-10,10	8,712	Yes
V3.0 vs V4.4				-31,93	27,54	Yes
V3.6 vs V4.4				-21,83	18,83	Yes

B. Análise estatística realizada na comparação dos valores VDV no eixo X

	EML	ERN	V2.5	V3.0	V3.6
Number of values	2	3	4	4	4
Minimum	2,760	1,220	30,10	38,60	45,60
25% Percentile	2,760	1,220	30,95	38,78	45,70
Median	3,085	3,270	34,15	39,95	47,10
75% Percentile	3,410	3,410	34,80	41,13	49,25
Maximum	3,410	3,410	34,80	41,30	49,60
Mean	3,085	2,633	33,30	39,95	47,35
Std. Deviation	0,4596	1,226	2,220	1,223	1,886
Std. Error	0,3250	0,7078	1,110	0,6117	0,9430
Lower 95% CI	-1,045	-0,4122	29,77	38,00	44,35
Upper 95% CI	7,215	5,679	36,83	41,90	50,35
Table Analyzed			VDV Eixo X		
One-way analysis of variance					
P value			< 0.0001		
P value summary			***		
Are means signif. different? (P < 0.05)			Yes		
Number of groups			6		
F			500,8		
R squared			0,9940		
ANOVA Table			SS	df	MS
Treatment (between columns)			7894	5	1579
Residual (within columns)			47,29	15	3,152
Total			7941	20	
Tukey's Multiple Comparison Test			Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?
EML vs ERN			0,4517	0,3941	No
EML vs V2.5			-30,22	27,79	Yes
EML vs V3.0			-36,87	33,91	Yes
EML vs V3.6			-44,27	40,71	Yes
EML vs V4.4			-54,27	49,91	Yes
ERN vs V2.5			-30,67	31,98	Yes
ERN vs V3.0			-37,32	38,92	Yes
ERN vs V3.6			-44,72	46,63	Yes
ERN vs V4.4			-54,72	57,06	Yes
V2.5 vs V3.0			-6,650	7,491	Yes
V2.5 vs V3.6			-14,05	15,83	Yes
V2.5 vs V4.4			-24,05	27,09	Yes
V3.0 vs V3.6			-7,400	8,336	Yes
V3.0 vs V4.4	-17,40	19,60			Yes
V3.6 vs V4.4			-10,00	11,26	Yes

C. Análise estatística realizada na comparação dos valores VDV no eixo Y

	EML	ERN	V2.5	V3.0	V3.6	V4.4
Number of values	2	3	4	4	4	4
Minimum	4,050	0,8220	27,50	35,50	39,00	53,20
25% Percentile	4,050	0,8220	27,55	35,90	39,30	53,55
Median	4,445	0,9670	27,80	37,15	40,40	54,70
75% Percentile	4,840	1,390	27,90	38,03	41,43	55,55
Maximum	4,840	1,390	27,90	38,30	41,70	55,80
Mean	4,445	1,060	27,75	37,03	40,38	54,60
Std. Deviation	0,5586	0,2951	0,1915	1,153	1,115	1,071
Std. Error	0,3950	0,1704	0,09574	0,5764	0,5573	0,5354
Lower 95% CI	-0,5739	0,3265	27,45	35,19	38,60	52,90
Upper 95% CI	9,464	1,793	28,05	38,86	42,15	56,30
Parameter						
Table Analyzed			VDV Eixo Y			
One-way analysis of variance						
P value			< 0.0001			
P value summary			***			
Are means signif. different? (P < 0.05)			Yes			
Number of groups			6			
F			1753			
R squared			0,9983			
ANOVA Table			SS	df	MS	
Treatment (between columns)			6866	5	1373	
Residual (within columns)			11,75	15	0,7834	
Total			6878	20		
Tukey's Multiple Comparison Test			Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	
EML vs ERN			3,385	5,925	Yes	
EML vs V2.5			-23,31	43,00	Yes	
EML vs V3.0			-32,58	60,11	Yes	
EML vs V3.6			-35,93	66,29	Yes	
EML vs V4.4			-50,16	92,53	Yes	
ERN vs V2.5			-26,69	55,84	Yes	
ERN vs V3.0			-35,97	75,24	Yes	
ERN vs V3.6			-39,32	82,25	Yes	
ERN vs V4.4			-53,54	112,0	Yes	
V2.5 vs V3.0			-9,275	20,96	Yes	
V2.5 vs V3.6			-12,63	28,53	Yes	
V2.5 vs V4.4			-26,85	60,67	Yes	
V3.0 vs V3.6			-3,350	7,570	Yes	
V3.0 vs V4.4			-17,58	39,71	Yes	
V3.6 vs V4.4			-14,23	32,14	Yes	

D. Análise estatística realizada na comparação dos valores VDV no eixo Z

	EML	ERN	V2.5	V3.0	V3.6	V4.4
Number of values	2	3	4	4	4	4
Minimum	2,840	0,8730	25,70	27,80	29,60	40,00
25% Percentile	2,840	0,8730	26,00	28,18	30,08	40,38
Median	3,875	1,210	26,90	30,00	33,10	42,45
75% Percentile	4,910	1,240	28,33	30,78	36,13	45,50
Maximum	4,910	1,240	28,80	30,80	36,60	46,20
Mean	3,875	1,108	27,08	29,65	33,10	42,78
Std. Deviation	1,464	0,2038	1,282	1,411	3,142	2,674
Std. Error	1,035	0,1177	0,6408	0,7053	1,571	1,337
Lower 95% CI	-9,276	0,6015	25,04	27,41	28,10	38,52
Upper 95% CI	17,03	1,614	29,11	31,89	38,10	47,03
Table Analyzed	VDV Eixo Z					
One-way analysis of variance						
P value	< 0.0001					
P value summary	***					
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes					
Number of groups	6					
F	197,3					
R squared	0,9850					
ANOVA Table	SS					df
Treatment (between columns)	4222					5
Residual (within columns)	64,19					15
Total	4286					20
Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff.					Significant? P < 0.05?
EML vs ERN	2,767					2,072
EML vs V2.5	-23,20					18,31
EML vs V3.0	-25,78					20,35
EML vs V3.6	-29,23					23,07
EML vs V4.4	-38,90					30,71
ERN vs V2.5	-25,97					23,24
ERN vs V3.0	-28,54					25,55
ERN vs V3.6	-31,99					28,64
ERN vs V4.4	-41,67					37,30
V2.5 vs V3.0	-2,575					2,490
V2.5 vs V3.6	-6,025					5,825
V2.5 vs V4.4	-15,70					15,18
V3.0 vs V3.6	-3,450					3,335
V3.0 vs V4.4	-13,13					12,69
V3.6 vs V4.4	-9,675					9,354

E: Análise estatística realizada na comparação dos valores de AEQ entre os tratamentos

	EML	ERN	V2.5	V3.0	V3.6	V4.4
Number of values	2	3	4	4	4	4
Minimum	2,140	0,4350	15,50	19,40	21,30	26,70
25% Percentile	2,140	0,4350	15,98	19,40	21,53	26,73
Median	2,445	0,8850	17,45	19,45	22,35	26,80
75% Percentile	2,750	0,9540	17,80	19,95	22,88	26,80
Maximum	2,750	0,9540	17,90	20,10	23,00	26,80
Mean	2,445	0,7580	17,08	19,60	22,25	26,78
Std. Deviation	0,4313	0,2818	1,072	0,3367	0,7141	0,05000
Std. Error	0,3050	0,1627	0,5360	0,1683	0,3571	0,02500
Lower 95% CI	-1,430	0,05786	15,37	19,06	21,11	26,70
Upper 95% CI	6,320	1,458	18,78	20,14	23,39	26,85
Table Analyzed	AEQ					
One-way analysis of variance						
P value	< 0.0001					
P value summary	***					
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes					
Number of groups	6					
F	916,6					
R squared	0,9967					
ANOVA Table	SS					df
Treatment (between columns)	1732					5
Residual (within columns)	5,670					15
Total	1738					20
Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff.					Significant? P < 0.05?
EML vs ERN	1,687					No
EML vs V2.5	-14,63					Yes
EML vs V3.0	-17,16					Yes
EML vs V3.6	-19,81					Yes
EML vs V4.4	-24,33					Yes
ERN vs V2.5	-16,32					Yes
ERN vs V3.0	-18,84					Yes
ERN vs V3.6	-21,49					Yes
ERN vs V4.4	-26,02					Yes
V2.5 vs V3.0	-2,525					Yes
V2.5 vs V3.6	-5,175					Yes
V2.5 vs V4.4	-9,700					Yes
V3.0 vs V3.6	-2,650					Yes
V3.0 vs V4.4	-7,175					Yes
V3.6 vs V4.4	-4,525					Yes

F: Análise estatística realizada na comparação dos valores de Amáx entre os tratamentos

	EML	ERN	V2.5	V3.0	V3.6	V4.4
Number of values	2	3	4	4	4	4
Minimum	3,500	1,320	27,40	40,10	39,70	54,10
25% Percentile	3,500	1,320	27,50	40,15	39,93	54,50
Median	3,690	3,350	28,00	41,10	42,10	57,55
75% Percentile	3,880	3,760	28,88	42,20	44,58	60,60
Maximum	3,880	3,760	29,10	42,30	44,90	61,00
Mean	3,690	2,810	28,13	41,15	42,20	57,55
Std. Deviation	0,2687	1,307	0,7274	1,112	2,454	3,196
Std. Error	0,1900	0,7543	0,3637	0,5560	1,227	1,598
Lower 95% CI	1,276	-0,4357	26,97	39,38	38,30	52,46
Upper 95% CI	6,104	6,056	29,28	42,92	46,10	62,64
Table Analyzed			Amáxima			
One-way analysis of variance						
P value			< 0.0001			
P value summary			***			
Are means signif. different? (P < 0.05)			Yes			
Number of groups			6			
F			394,6			
R squared			0,9925			
ANOVA Table			SS	df	MS	
Treatment (between columns)			7563	5	1513	
Residual (within columns)			57,49	15	3,833	
Total			7620	20		
Tukey's Multiple Comparison Test			Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	
EML vs ERN			0,8800	0,6963	No	
EML vs V2.5			-24,44	20,38	Yes	
EML vs V3.0			-37,46	31,25	Yes	
EML vs V3.6			-38,51	32,12	Yes	
EML vs V4.4			-53,86	44,92	Yes	
ERN vs V2.5			-25,32	23,94	Yes	
ERN vs V3.0			-38,34	36,26	Yes	
ERN vs V3.6			-39,39	37,25	Yes	
ERN vs V4.4			-54,74	51,77	Yes	
V2.5 vs V3.0			-13,03	13,31	Yes	
V2.5 vs V3.6			-14,08	14,38	Yes	
V2.5 vs V4.4			-29,43	30,06	Yes	
V3.0 vs V3.6			-1,050	1,073	No	
V3.0 vs V4.4			-16,40	16,75	Yes	
V3.6 vs V4.4			-15,35	15,68	Yes	

G: Análise estatística realizada na comparação dos valores de Amp entre os tratamentos

	EML	ERN	V2.5	V3.0	V3.6	V4.4
Number of values	2	3	4	4	4	4
Minimum	5,080	1,270	47,70	64,70	67,20	97,60
25% Percentile	5,080	1,270	48,45	65,65	67,52	98,20
Median	5,710	6,340	51,40	68,50	68,50	101,5
75% Percentile	6,340	6,340	52,10	69,48	72,40	103,8
Maximum	6,340	6,340	52,10	69,80	73,70	104,0
Mean	5,710	4,650	50,65	67,88	69,48	101,2
Std. Deviation	0,8910	2,927	2,074	2,204	2,883	2,914
Std. Error	0,6300	1,690	1,037	1,102	1,441	1,457
Lower 95% CI	-2,295	-2,621	47,35	64,37	64,89	96,51
Upper 95% CI	13,71	11,92	53,95	71,38	74,06	105,8
Table Analyzed			AMP			
One-way analysis of variance						
P value			< 0.0001			
P value summary			***			
Are means signif. different? (P < 0.05)			Yes			
Number of groups			6			
F			705,4			
R squared			0,9958			
ANOVA Table			SS	df	MS	
Treatment (between columns)			22530	5	4505	
Residual (within columns)			95,81	15	6,387	
Total			22620	20		
Tukey's Multiple Comparison Test			Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	
EML vs ERN			1,060	0,6498	No	
EML vs V2.5			-44,94	29,04	Yes	
EML vs V3.0			-62,17	40,17	Yes	
EML vs V3.6			-63,77	41,20	Yes	
EML vs V4.4			-95,44	61,67	Yes	
ERN vs V2.5			-46,00	33,70	Yes	
ERN vs V3.0			-63,23	46,32	Yes	
ERN vs V3.6			-64,83	47,50	Yes	
ERN vs V4.4			-96,50	70,70	Yes	
V2.5 vs V3.0			-17,23	13,63	Yes	
V2.5 vs V3.6			-18,83	14,90	Yes	
V2.5 vs V4.4			-50,50	39,96	Yes	
V3.0 vs V3.6			-1,600	1,266	No	
V3.0 vs V4.4			-33,28	26,33	Yes	
V3.6 vs V4.4			-31,68	25,07	Yes	

H: Análise estatística realizada na comparação dos valores de Amin entre os tratamentos

	EML	ERN	V2.5	V3.0	V3.6	V4.4
Number of values	2	3	4	4	4	4
Minimum	1,730	0,2750	3,870	2,090	1,790	1,710
25% Percentile	1,730	0,2750	4,113	2,273	1,790	1,745
Median	1,990	0,2850	5,430	2,865	1,910	1,920
75% Percentile	2,250	0,3300	7,978	3,375	2,128	2,013
Maximum	2,250	0,3300	8,630	3,530	2,160	2,020
Mean	1,990	0,2967	5,840	2,838	1,943	1,893
Std. Deviation	0,3677	0,02930	2,057	0,5899	0,1839	0,1424
Std. Error	0,2600	0,01691	1,029	0,2949	0,09196	0,07122
Lower 95% CI	-1,314	0,2239	2,566	1,899	1,650	1,666
Upper 95% CI	5,294	0,3694	9,114	3,776	2,235	2,119
Table Analyzed	Amin					
One-way analysis of variance						
P value	< 0.0001					
P value summary	***					
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes					
Number of groups	6					
F	13,38					
R squared	0,8168					
ANOVA Table	SS df MS					
Treatment (between columns)	62,60 5 12,52					
Residual (within columns)	14,04 15 0,9360					
Total	76,64 20					
Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff. q Significant? P < 0.05?					
EML vs ERN	1,693 2,711 No					
EML vs V2.5	-3,850 6,498 Yes					
EML vs V3.0	-0,8475 1,430 No					
EML vs V3.6	0,04750 0,08017 No					
EML vs V4.4	0,09750 0,1646 No					
ERN vs V2.5	-5,543 10,61 Yes					
ERN vs V3.0	-2,541 4,863 Yes					
ERN vs V3.6	-1,646 3,150 No					
ERN vs V4.4	-1,596 3,054 No					
V2.5 vs V3.0	3,003 6,207 Yes					
V2.5 vs V3.6	3,898 8,057 Yes					
V2.5 vs V4.4	3,948 8,160 Yes					
V3.0 vs V3.6	0,8950 1,850 No					
V3.0 vs V4.4	0,9450 1,954 No					
V3.6 vs V4.4	0,05000 0,1034 No					

I: Análise estatística realizada na comparação dos valores de CFmp entre os tratamentos

	EML	ERN	V2.5	V3.0	V3.6	V4.4
Number of values	2	3	4	4	4	4
Minimum	7,260	9,300	8,150	10,50	9,500	11,20
25% Percentile	7,260	9,300	8,430	10,55	9,570	11,28
Median	7,385	16,50	9,375	10,85	9,940	11,60
75% Percentile	7,510	17,10	10,25	11,08	10,10	11,78
Maximum	7,510	17,10	10,50	11,10	10,10	11,80
Mean	7,385	14,30	9,350	10,83	9,870	11,55
Std. Deviation	0,1768	4,341	0,9636	0,2754	0,2891	0,2646
Std. Error	0,1250	2,506	0,4818	0,1377	0,1446	0,1323
Lower 95% CI	5,797	3,518	7,817	10,39	9,410	11,13
Upper 95% CI	8,973	25,08	10,88	11,26	10,33	11,97
Table Analyzed			CFMP			
One-way analysis of variance						
P value			0,0050			
P value summary			**			
Are means signif. different? (P < 0.05)			Yes			
Number of groups			6			
F			5,378			
R squared			0,6419			
ANOVA Table			SS	df	MS	
Treatment (between columns)			73,84	5	14,77	
Residual (within columns)			41,19	15	2,746	
Total			115,0	20		
Tukey's Multiple Comparison Test			Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	
EML vs ERN			-6,915	6,465	Yes	
EML vs V2.5			-1,965	1,937	No	
EML vs V3.0			-3,440	3,390	No	
EML vs V3.6			-2,485	2,449	No	
EML vs V4.4			-4,165	4,105	No	
ERN vs V2.5			4,950	5,531	Yes	
ERN vs V3.0			3,475	3,883	No	
ERN vs V3.6			4,430	4,950	Yes	
ERN vs V4.4			2,750	3,073	No	
V2.5 vs V3.0			-1,475	1,780	No	
V2.5 vs V3.6			-0,5200	0,6276	No	
V2.5 vs V4.4			-2,200	2,655	No	
V3.0 vs V3.6			0,9550	1,153	No	
V3.0 vs V4.4			-0,7250	0,8751	No	
V3.6 vs V4.4			-1,680	2,028	No	

J: Análise estatística realizada na comparação dos valores de A (8) entre os tratamentos

	EML	ERN	V2.5	V3.0	V3.6	V4.4
Number of values	2	3	4	4	4	4
Minimum	0,0813	0,0135	0,4870	0,6140	0,6890	0,8180
25% Percentile	0,0813	0,0135	0,5123	0,6143	0,6905	0,8195
Median	0,0899	0,0359	0,5895	0,6275	0,7115	0,8240
75% Percentile	0,0985	0,0383	0,6023	0,6423	0,7423	0,8458
Maximum	0,0985	0,0383	0,6060	0,6430	0,7470	0,8530
Mean	0,0899	0,02923	0,5680	0,6280	0,7148	0,8298
Std. Deviation	0,01216	0,01368	0,05457	0,01564	0,02750	0,01576
Std. Error	0,0086	0,007897	0,02729	0,007821	0,01375	0,007878
Lower 95% CI	-0,01937	-0,004745	0,4812	0,6031	0,6710	0,8047
Upper 95% CI	0,1992	0,06321	0,6548	0,6529	0,7585	0,8548
Table Analyzed			A8			
One-way analysis of variance						
P value			< 0.0001			
P value summary			***			
Are means signif. different? (P < 0.05)			Yes			
Number of groups			6			
F			381,6			
R squared			0,9922			
ANOVA Table			SS	df	MS	
Treatment (between columns)			1,679	5	0,3359	
Residual (within columns)			0,01320	15	0,0008802	
Total			1,693	20		
Tukey's Multiple Comparison Test			Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	
EML vs ERN			0,06067	3,168	No	
EML vs V2.5			-0,4781	26,31	Yes	
EML vs V3.0			-0,5381	29,62	Yes	
EML vs V3.6			-0,6249	34,39	Yes	
EML vs V4.4			-0,7399	40,72	Yes	
ERN vs V2.5			-0,5388	33,62	Yes	
ERN vs V3.0			-0,5988	37,37	Yes	
ERN vs V3.6			-0,6855	42,78	Yes	
ERN vs V4.4			-0,8005	49,96	Yes	
V2.5 vs V3.0			-0,0600	4,045	No	
V2.5 vs V3.6			-0,1468	9,893	Yes	
V2.5 vs V4.4			-0,2618	17,64	Yes	
V3.0 vs V3.6			-0,08675	5,848	Yes	
V3.0 vs V4.4			-0,2018	13,60	Yes	
V3.6 vs V4.4			-0,1150	7,752	Yes	