**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Avaliação dos níveis de vibração emitidos por tratores agrícolas

Ricardo Gonçalves Rosa

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2019**

Ricardo Gonçalves Rosa
Engenheiro de Biosistemas

Avaliação dos níveis de vibração emitidos por tratores agrícolas
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011.

Orientador:
Prof. Dr. **MURILO MESQUITA BAESSO**

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de Concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Rosa, Ricardo Gonçalves

Avaliação dos níveis de vibração emitidos por tratores agrícolas /
Ricardo Gonçalves Rosa. - - versão revisada de acordo com a resolução
CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

62 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz
de Queiroz".

1. Máquinas agrícolas 2. Ergonomia 3. Operador 4. Frequência I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e minha irmã, pelo apoio incondicional em mais essa etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo, a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e a Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos pelo conhecimento adquirido.

Aos meus familiares responsáveis por minha educação e capacitação para enfrentar os desafios da vida.

Aos meus amigos por todo o carinho e ajuda em minha trajetória.

Ao Professor Murilo Mesquita Baesso, por toda dedicação e sabedoria que me transmitiu durante a graduação e pós-graduação.

Aos integrantes do Laboratório de Máquinas Agrícolas e Agricultura de Precisão, por toda a ajuda que me propiciaram a fazer este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, por fomentar a bolsa de pesquisa vinculada a este trabalho.

EPÍGRAFE

“Nossas virtudes e nossos defeitos são inseparáveis, assim como a força e a matéria. Quando se separados, o homem deixa de existir.”

- Nikola Tesla

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. TRATORES AGRÍCOLAS	15
2.2. ERGONOMIA EM TRATORES AGRÍCOLAS	15
2.3. DEFINIÇÃO DE VIBRAÇÃO	16
2.4. O CORPO HUMANO E A VIBRAÇÃO	17
2.5. LEGISLAÇÃO E NORMAS SOBRE VIBRAÇÃO EM OPERADORES DE TRATORES AGRÍCOLAS	18
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	21
3.2. TRATORES ESTUDADOS.....	22
3.3. AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5. CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS.....	47
ANEXOS	51

RESUMO

Avaliação dos níveis de vibração emitidos por tratores agrícolas

Entre os fatores ergonômicos que prejudicam os operadores das máquinas, a vibração se destaca entre os principais, embora ainda haja poucos trabalhos desenvolvidos para a avaliação desse parâmetro e suas implicações na saúde ocupacional. Este trabalho teve como objetivo avaliar os níveis de vibração emitidos por tratores agrícolas com diferentes potências, comparando-se os resultados com a norma vigente (ISO 2631), além de avaliar esses níveis em três diferentes tipos de terreno (asfalto, terra e campo). O projeto foi realizado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), localizada no município de Pirassununga, e em sua metodologia foram avaliados sete tratores, denominados A, B, C, D, E, F e G, sendo eles de mesma marca, com potências que variam de 75 cv até 215 cv, sendo a faixa de frequência escolhida para estudo de 5 Hz até 10 Hz, com o tempo total de aquisição de dados sendo de 20 minutos e com os tratores operando em condições semelhantes, sendo realizadas cinco repetições em cada tratamento (trator x terreno), todos os tratores foram alocados na Prefeitura Administrativa do Campus USP Fernando Costa de Pirassununga. Todos os tratores estudados em algum momento dentro da faixa analisada apresentou níveis de vibração superiores aos limites estabelecidos pela ISO 2631 (1978) em pelo menos algum dos seus três parâmetros, Nível de Conforto Reduzido, Nível de Eficiência Reduzida ou Limite de Exposição, para o período de trabalho de 8 horas diária, expondo os operadores a problemas de saúde e diminuição de produtividade vinculados à faixa de frequência considerada. Este estudo demonstra por que mais pesquisas são necessárias em relação à mecanização agrícola e como as vibrações desses tratores afetam a saúde dos operadores. Estudar esses fatores pode ajudar a reduzir os problemas de saúde causados pela vibração desses tratores aos seus operadores.

Palavras-chave: Máquinas agrícolas; Ergonomia; Operador; Frequência

ABSTRACT

Evaluation of emitted vibration levels by agricultural tractors

Between the ergonomic factors that affect the operator machine, vibration stands out as one the principle concerns, however, few studies indicate vibration as an implication for occupational health. This study aims to evaluate the emitted vibration levels of the agricultural tractors when set at different powers, and then comparing the results with the current regulation, and evaluating these levels in three different types of terrain (asphalt, ground and agricultural field). The project was done at the Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), located in the city of Pirassununga, and in its methodology were evaluated seven tractors named A, B, C, D, E, F and G, being of the same brand, with power ranging from 75 cv up to 215 cv, being the frequency range chosen for study from 5 Hz to 10 Hz, the total time of data acquisition was 20 minutes, with tractors operating under similar conditions, with five replications in each treatment (tractor x terrain), all the tractors were allocated on the administrative campus hall at USP- Pirassununga. All tractors studied at some point within the analyzed range presented vibration levels higher than the limits established by ISO 2631 (1978) in at least one of its three parameters, Reduced Comfort Level, Reduced Efficiency Level or Exposure Limit for the 8-hour work period, demonstrating that the diminished health of the operators, caused by the vibration, contributed to decreased productivity correlated to the frequency of the bands that were considered. This study demonstrates why more research is necessary regarding agricultural mechanization and how the vibrations of these tractors effect the health of the operators. Studying these factors can help reduce the health problems caused by the vibration of these tractors to their operators.

Keywords: Agricultural machinery; Ergonomics; Operator; Frequency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos.	18
Figura 2. Imagem de satélite da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA). Imagem: Google Earth, acessado em 30/06/2019	21
Figura 3. Localização da cidade de Pirassununga em relação ao estado de São Paulo. Imagem: Raphael Lorenzeto de Abreu, (https://commons.wikimedia.org), acessado em 30/06/2019.....	21
Figura 4. Analisador de vibração modelo HD-2030HA-WB.	23
Figura 5. Acelerômetro em formato de assento, modelo 356B41, PCB Piezotronics.	23
Figura 6. Limite de aceleração transversal (eixos x e y) como função da frequência e tempo de exposição para nível de eficiência reduzida.	24
Figura 7. Limite de aceleração longitudinal (eixo z) como função da frequência e tempo de exposição para nível de eficiência reduzida.	25
Figura 8. Aceleração (eixo x) para bandas 1/3 de oitava, para os tratores operando em asfalto de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).....	31
Figura 9. Aceleração (eixo y) para bandas 1/3 de oitava, para os tratores operando em asfalto de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).....	32
Figura 10. Aceleração (eixo z) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em asfalto de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).....	33
Figura 11. Aceleração (eixo x) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em terra de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).....	35
Figura 12. Aceleração (eixo y) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em terra de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).....	36
Figura 13. Aceleração (eixo z) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em terra de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).....	37
Figura 14. Aceleração (eixo x) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em campo de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).....	39

Figura 15. Aceleração (eixo y) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em campo de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER)..... 40

Figura 16. Aceleração (eixo z) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em campo de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER)..... 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos tratores utilizados no estudo.	22
Tabela 2. Valores numéricos de “nível de eficiência reduzida” para aceleração da vibração na direção longitudinal (eixo z).	26
Tabela 3. Valores numéricos de “nível de eficiência reduzida” para aceleração de vibração na direção transversa (eixos x e y).	27
Tabela 4. Valores de média referentes aos eixo x, y e z, para os tratores operando em todos os terrenos.....	29
Tabela 5. Valores de desvio padrão referentes aos eixo x, y e z, para os tratores operando em todos os terrenos.	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FZEA	Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
ISO	International Organization for Standardization
LAMAP	Laboratório de Máquinas Agrícolas e Agricultura de Precisão
LE	Limite de Exposição
NCR	Nível de Conforto Reduzido
NER	Nível de Eficiência Reduzida
NR	Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego
RMS	Valor Médio Quadrático (<i>Root Mean Square</i>)
USP	Universidade de São Paulo

1. INTRODUÇÃO

Estimulado pelo aumento no rigor das normas de segurança de trabalho, há uma tendência para a melhoria das condições de ergonomia e segurança do operador. Entretanto, uma parte dos tratores agrícolas, apresentam problemas de conforto e segurança, causando, entre outros, diminuição na capacidade operacional e ocorrência de acidentes em atividades agrícolas. Kyuhyun et al. (2017) afirmaram que, mesmo com o avanço tecnológico, os tratores agrícolas têm nível de conforto abaixo do recomendado quando são comparados com os carros de passeio, ficando ainda mais evidente a necessidade de novas pesquisas com vistas à melhoria ergonômica dessas máquinas.

Nos tratores agrícolas, vibrações geradas tanto pelo motor, como pela irregularidade do relevo podem ser transferidas para o corpo do operador através principalmente do assento e da cabine do trator (LANGER et al., 2015). A exposição às vibrações constantes nas quais os operadores de tratores agrícolas estão sujeitos em sua jornada de trabalho diária, tem a tendência de provocar vários efeitos nocivos à sua saúde (CUTINI et al., 2016).

A principal preocupação da ergonomia é o elemento humano, sendo seu objetivo a satisfação do trabalhador, tendo em vista que o acréscimo de produção ou melhoria da qualidade dos produtos são resultados de uma interação adequada entre o homem e o sistema de produção (FILIP & CANDALE 2012). Então é visto que o aperfeiçoamento procurado em questões ergonômicas e na segurança do operador é cada vez mais intenso, entendendo-se que é reconhecida a existência de doenças relacionadas ao trabalho estacionário e também se nota um aumento na rigidez das normas de segurança do trabalho (ALVES et al., 2011; SILVA, 2010). No entanto, trabalhos com o objetivo da avaliação de índices ergonômicos e sua relação com a saúde ocupacional ainda são pouco realizados (ANTONUCCI et al., 2012; CUNHA; DUARTE; SOUZA, 2012).

Dentro dessa visão, considerando que o estudo da ergonomia tem uma grande importância no cenário agrícola, influenciando desde a produção obtida no campo até os efeitos nocivos gerados pela vibração excessiva de suas máquinas aos operadores, e também pela falta de estudos encontrados na literatura em relação a essa área de conhecimento, este presente trabalho teve como objetivos: avaliar os níveis de vibração emitidos por tratores agrícolas com diferentes potências, comparando-se os resultados com as normas vigentes, além de avaliar esses níveis em três diferentes tipos de terreno (asfalto, terra e campo).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tratores agrícolas

O trator é uma máquina automotriz que, além de garantir apoio estável sobre uma superfície, tem a capacidade de tracionar, transportar e acionar implementos e máquinas agrícolas (SILVA, 2005). Schlosser e Debiasi (2001) definem o trator agrícola como unidade móvel de potência, composta de motor, transmissão, sistemas de direção e de sustentação e componentes complementares, em que podem ser acoplados implementos e máquinas.

Tendo em vista que grande parte da frota brasileira de tratores ainda é antiga, mesmo estes tratores podendo ter um bom desempenho durante o trabalho agrícola, eles não são confortáveis quando o tema são vibrações, ou seja, não podem reduzir as vibrações para dentro da norma vigente. Nestes tratores, a absorção de choques e vibrações é feita apenas por pneus e assentos mecânicos simples, sem nenhum sistema de suspensão adicional (CVETANOVIC et al., 2017).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), o Brasil no ano de 2015 apresentou mais de 2.000 empresas relacionadas à fabricação e comércio de tratores e equipamentos agrícolas. Apesar do crescimento do setor agrícola no Brasil e no mundo, ainda assim são fabricados tratores que não foram projetados para oferecer relações homem-máquina adequados, apropriando o posto operacional ao trabalhador. Tal situação é evidente em razão da otimização dos parâmetros operacionais e de desempenho ainda serem os principais objetivos das empresas, o que acaba proporcionando, muitas vezes, o operador a trabalhar exposto a condições impróprias de clima, de ruídos e de vibrações (SANTOS et al., 2014).

2.2. Ergonomia em tratores agrícolas

A ergonomia tem com base proporcionar o bem-estar do homem em junção ao sistema de produção, entendendo-se assim que o aumento da produção ou melhoria da qualidade dos produtos são consequências de uma relação adequada entre o homem e a máquina (FILIP; CANDALE, 2012).

A ergonomia é o estudo da adaptação do homem ao trabalho. Essa adaptação pode ocorrer antes do trabalho ser realizado ou dependendo da execução do trabalho, durante e após esse trabalho (IIDA, 2016). Segundo Marquéz (2012), a ergonomia é a ciência que estuda a atividade do homem que utiliza máquinas com o objetivo de melhorar as condições de trabalho. Considerando os efeitos entre o homem e a máquina, a

ergonomia como a ciência, estuda as relações entre o homem, o seu trabalho e o ambiente que o circunda (SANTOS et al., 2010).

Segundo Wang et al. (2009), os tratores agrícolas normalmente trabalham em áreas com variações de relevo, gerando portando um ambiente de constante e intensa vibração. Esses tratores, em geral, produzem vibrações de baixa frequência, que são transmitidas para o posto do operador (SERVADIO et al. 2007). Estas frequências podem gerar problemas na coluna vertebral, na vista, irritação e complicações digestivas. Ou seja, é de grande importância que se tente reduzir ou até mesmo eliminar essas vibrações para que se obtenha a máxima ergonomia possível no momento de operação do trator.

2.3. Definição de vibração

O balanço irregular ou regular provocado por um corpo em torno de um repouso pode-se ser denominado de vibração (SELL, 2002). De acordo com Anflor (2003), há quatro fatores físicos importantes para caracterizar a vibração no corpo humano que são: intensidade, frequência, direção e duração (tempo de exposição) da vibração. Segundo Rao (2008), vibração é quando um objeto possui uma dinâmica cinética que se repercute após um período, consistindo em uma forma para a armazenagem de energia potencial e energia cinética e também para uma forma de perda gradual de energia.

No que se refere ao movimento oscilatório, para quantificação da vibração, são aplicados os parâmetros deslocamento, velocidade e aceleração. Na área de higiene ocupacional, a quantificação da vibração comumente é realizada por meio da aceleração do movimento em $m.s^{-2}$, enquanto parâmetros relacionados à amplitude da vibração são: o valor do pico, pico a pico e o valor RMS.

O conceito de vibração consiste em um conjunto complexo de diversas ondas, com frequências e direções distintas, e com a análise desses componentes, se tem a possibilidade do cálculo do nível médio das vibrações. Contudo, alguns trabalhos realizados nesta área consideram apenas a vibração vertical (Fernandes et al. 2003, Santos Filho et al. 2004, Franchini 2007), o que dificulta determinar o impacto dessas ondas no corpo humano e sua mitigação. De acordo com Tewari & Dewangan (2009), a redução da vibração, além de diminuir o estresse do operador, permite melhorar sua qualidade de vida e um aumento de sua jornada de trabalho sem causar excesso de fadiga.

2.4. O corpo humano e a vibração

Segundo a Norma ISO 2631 (1978), referente a avaliação da exposição humana à vibrações de corpo inteiro, o corpo humano pode receber as vibrações de três maneiras distintas, atingindo o corpo inteiro ou partes substanciais do mesmo, vibrações transmitidas por meio de superfícies de sustentação, tais como pés, nádegas e costas, e, por fim, as que atingem partes específicas do corpo, como mãos, cabeça e pernas. Nos tratores agrícolas, o operador recebe as vibrações através do assento, do piso, dos comandos manuais e dos pedais.

A exposição em longo prazo a vibrações cuja intensidade está acima do limite pode comprometer a saúde humana. Alcançar uma solução adequada para esse problema ainda é uma das tarefas mais importantes no desenvolvimento de tratores (SCARLETT et al., 2005; KYUHYUN et al., 2017).

Boshuizen (1990) e Mandapuram (2015) afirmam que vibração pode impor um grande risco à saúde do operador e em virtude das influências combinadas de vibrações e outros riscos à saúde ocupacional, nem sempre é possível estabelecer a correlação entre o efeito das vibrações e a doença do condutor. Estudos apontam que a exposição prolongada a vibrações de alto nível pode levar a lesões na coluna lombar, doenças do sistema digestivo e problemas cardiovasculares.

Rauser e Williams (2014), citam que os operadores de tratores agrícolas possuem uma alta tendência em apresentar distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho, e dentro desses distúrbios a lombalgia é a doença predominante desses operadores (Kim et al., 2016). Burstrom et al. (2015) também afirmam que a lombalgia sofrida por operadores de tratores agrícolas tem como principal causa as vibrações de corpo inteiro.

A ISO 2631 (1978) estabelece um sistema de coordenadas ortogonais para estudos do efeito da magnitude em diferentes direções. Na Figura 1 são apresentadas as direções de medição da vibração no corpo humano. O corpo humano reage às vibrações de diversas maneiras. A sensibilidade às vibrações longitudinais é distinta da sensibilidade transversal. Frequências com menos 1 Hz podem causar enjoos, enquanto as frequências entre 5 Hz e 8 Hz podem prejudicar a parte intestinal do indivíduo assim como também a coluna vertebral e as frequências entre 15 Hz e 24 Hz podem causar problemas de vista, reduzindo o foco e a detecção do estímulo luminoso (BERASATEGUI, 2000). Como é possível observar na Figura 1, no corpo humano, a vibração pode ser medida por meio dos três eixos ortogonais (x, y e z).

Figura 1. Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos.

Fonte: adaptado de ISO 2631 (1978).

Os veículos que circulam nas estradas, possuem predominantemente as vibrações de corpo inteiro no eixo vertical (z), no entanto os veículos como tratores agrícolas, tendem a apresentar essas vibrações em torno dos seus três eixos ortogonais (x, y e z) (JOHNSON et al., 2015). A análise dessas vibrações se torna ainda mais complexa, pois no ambiente agrícola temos uma grande gama de fatores que influenciam nessas análises, como: variedade e irregularidade de relevos, diferentes configurações de tratores, comportamento do operador e compactação do solo, que causam uma grande faixa de imprevisibilidade nos resultados analisados (ZHAO & SCHINDLER, 2014).

2.5. Legislação e normas sobre vibração em operadores de tratores agrícolas

A ISO 2631 publicou e disponibilizou a sua primeira versão em 1974, sendo mais tarde reproduzida com alterações e melhorias em 1978, 1982, 1985, 1997 e 2010. De acordo com estas normas, deve-se medir a vibração na estrutura ou ponto pelo qual a mesma será transmitida ao corpo inteiro. Em 1982 uma emenda foi adicionada a Norma ISO 2631 (1978), definindo o valor ponderado global de vibração através da combinação dos três eixos x, y e z (FRANCHINI, 2007).

Avaliando essa norma, três pontos devem ser levados em conta para a análise vibracional: a conservação da eficiência de seu trabalho, a prevenção do bem-estar e saúde do operador, e a manutenção de seu conforto. Para tanto, foram estipulados níveis ideais

para cada uma das preocupações demonstradas. São elas, respectivamente, nível de eficiência reduzida (NER), limite de exposição (LE) e nível de conforto reduzido (NCR).

Entende-se por nível de eficiência reduzida (NER) os valores que quando ultrapassados afetarão a eficiência do trabalho realizado, mais especificamente os dependentes do tempo, gerando fadiga ao operador. Limite de exposição (LE) é um parâmetro que quando não respeitado, origina uma série de efeitos nocivos à saúde de quem opera a máquina agrícola em questão, podendo causar desde tonturas até problemas digestivos, cardiovasculares, na coluna vertebral e inclusive problemas relacionados a visão. Quanto ao Nível de Conforto Reduzido (NCR), ele caracteriza o nível onde ocorre a perda do estado do conforto no qual o operador esteja trabalhando em sua máquina agrícola. Para tais análises existem padrões pré-estipulados de curvas em função do tempo de exposição à vibração, plotados em gráficos do tipo frequência (Hz) x aceleração (ms^{-2}), para cada um dos diferentes níveis ou limites avaliados, assim como para cada uma das direções de atuação (x, y, z).

As Normas Regulamentadoras – NR, no Brasil, referentes à segurança e medicina do trabalho, abordam os aspectos relacionados à insalubridade das atividades trabalhistas. A Norma Regulamentadora 15 (2009) indica os limites de tolerância para cada atividade de acordo com a concentração ou intensidade de exposição do trabalhador ao agente nocivo. Mas, a NR 15 não cita os limiares de exposição à vibração, no qual leva a adoção das normas internacionais mencionadas acima para realização dos ensaios (SANTOS, 2014).

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) ilustrada na figura 2, da Universidade de São Paulo (USP), localizada no município paulista de Pirassununga visualizada na figura 3, em área cedida pela Prefeitura Administrativa do Campus USP Fernando Costa. A localização geográfica do campus é 21°59' de latitude Sul e 47°26' de longitude Oeste e altitude média de 635 metros.

Figura 2. Imagem de satélite da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA). Imagem: Google Earth, acessado em 30/06/2019

Figura 3. Localização da cidade de Pirassununga em relação ao estado de São Paulo. Imagem: Raphael Lorenzeto de Abreu, (<https://commons.wikimedia.org>), acessado em 30/06/2019.

3.2. Tratores estudados

O estudo foi realizado com sete tratores da mesma fabricante e de modelos diferentes, na Tabela 1 são descritas as suas características.

Tabela 1. Características dos tratores utilizados no estudo.

Tratores	Potência (a 2200 rpm)	Ano de Fabricação	Horas Trabalhadas	Tração	Pneus	Peso (Kg)
A	75 cv	1996	6540	4x2	Diagonais	2766
B	86 cv	2005	1217	4x4	Diagonais	2463
C	120 cv	2005	7834	4x4	Diagonais	3800
D	173 cv	1997	7472	4x4	Diagonais	4502
E	75 cv	2011	701	4x4	Diagonais	3748
F	110 cv	2011	907	4x4	Diagonais	4105
G	215 cv	2012	161	4x4	Diagonais	6729

Foi utilizado o assento original de fábrica para todos os tratores, antes do início do ensaio, foram ajustados os assentos para o peso e altura do operador.

3.3. Avaliação da vibração

No que diz respeito à avaliação de vibração, a grandeza primária usada foi à aceleração, expressa em ms^{-2} , estabelecida na norma ISO 2631 (ISO, 1978). Para que se avaliassem as vibrações transmitidas pelo corpo inteiro com filtro de passa-banda utilizou-se um analisador de vibração modelo HD-2030HA-WB, ilustrado na Figura 4, marca Delta Ohm, número de série 12062930149 (Especificações técnicas em ANEXO A e Calibragem em ANEXO B), de responsabilidade do Laboratório de Máquinas Agrícolas e Agricultura de Precisão (LAMAP). O aparelho para aquisição de dados foi regulado para leitura de acelerações no corpo inteiro, com armazenamento a cada segundo.

Figura 4. Analisador de vibração modelo HD-2030HA-WB.

Em conjunto com o medidor de vibração foi utilizado um acelerômetro em formato de assento, ilustrado na Figura 5, modelo 356B41, marca PCB Piezotronics, número de série LW145553 (Especificações técnicas ANEXO C e Calibragem em ANEXO D), de análise tri-axial, também de responsabilidade do LAMAP. Ambos os equipamentos citados trabalham em conjunto, sendo estabelecido o contato entre o sensor e analisador de vibração, via cabo, para a aquisição e armazenamento dos dados coletados.

Figura 5. Acelerômetro em formato de assento, modelo 356B41, PCB Piezotronics.

O sensor de vibração foi posicionado entre o assento do trator e o operador, sentando este último sobre o sensor descrito, com o objetivo de coletar os dados nas mesmas condições as quais o operador está exposto diariamente. Para fidelizar as condições encontradas diariamente na operação de máquinas agrícolas, os ensaios foram tomados em três diferentes terrenos: asfalto, terra e campo. Para as análises em terra, utilizou-se de estradas de comum uso diário dos tratores para locomoção aos campos, caracterizada por sua compactação. Quanto ao ensaio em asfalto, consideraram-se as

pistas e ruas existentes entre o galpão onde se localizam as máquinas e a área de trabalho (campo). Por último, a condição de campo entendeu-se pela característica de solo mobilizado utilizado para cultivos em geral, onde a máquina permanece trabalhando diretamente. Para todos os tratores os percursos utilizados para as análises foram os mesmos, atentando-se ao fato de nenhum dos tratores estarem operando implementos no momento do ensaio, apresentando apenas deslocamento pelos terrenos em questão.

O tempo de aquisição foi de 20 minutos, com os tratores operando em condições semelhantes, sendo realizadas cinco repetições em cada tratamento (trator x terreno). Os sinais foram transformados para o domínio da frequência, utilizando-se a função FFT (amplitude e fase), sendo filtrados digitalmente em bandas de 1/3 de oitava para obtenção da aceleração eficaz. Os valores máximos obtidos em cada banda foram multiplicados por fatores de ponderação, gerando as acelerações ponderadas. A análise da aceleração eficaz ponderada global foi realizada na faixa entre 1 e 80 Hz. Segundo Berasategui (2000), doenças relacionadas ao trato estomacal e à coluna vertebral são causadas por frequências entre 5 e 8 Hz. A faixa entre 5 e 10 Hz foi destacada para os estudos de vibração de corpo inteiro, devido à sua abrangência de frequências de vibração importantes em razão de sua influência na coluna vertebral. A seguir constam as Figuras 6 e 7 referentes aos limites estabelecidos para nível de eficiência reduzida pela norma ISO 2631 (1978) para a avaliação da vibração de corpo inteiro para os eixos x e y e para o eixo z, respectivamente.

Figura 3a - Limite de aceleração transversal (a_x e a_y) como função da frequência e tempo de exposição para nível reduzido de eficiência (fadiga).

Figura 6. Limite de aceleração transversal (eixos x e y) como função da frequência e tempo de exposição para nível de eficiência reduzida.

Fonte: Adaptado de (ISO, 1978).

Figura 7. Limite de aceleração longitudinal (eixo z) como função da frequência e tempo de exposição para nível de eficiência reduzida.

Fonte: Adaptado de (ISO, 1978).

A seguir, nas Tabelas 2 e 3, constam os valores numéricos para os gráficos apresentados anteriormente, com os quais foi possível gerar as curvas referentes à exposição diária de 8 horas, considerada a jornada de trabalho. Esses dados foram retirados da ISO 2631 (1978) e tiveram seu formato adaptado às Tabelas 2 e 3, com as devidas traduções de termos. Na Tabela 2 observamos os valores numéricos referentes ao limite de NER, especificamente para o eixo z, e na Tabela 3 temos os valores numéricos de NER para os eixos x e y.

Tabela 2. Valores numéricos de “nível de eficiência reduzida” para aceleração da vibração na direção longitudinal (eixo z).

Frequência (centro da banda de 1/3 de oitava)	Aceleração (m/s ²)								
	Tempo de Exposição								
	24 h	16 h	8 h	4 h	2,5 h	1 h	25 min	16 min	1 min
1	0,28	0,425	0,63	1,06	1,4	2,36	3,55	4,25	5,6
1,25	0,25	0,375	0,56	0,95	1,26	2,12	3,15	3,75	5
1,6	0,224	0,335	0,50	0,85	1,12	1,9	2,8	3,35	4,5
2	0,2	0,3	0,45	0,75	1	1,7	2,5	3	4
2,5	0,18	0,265	0,40	0,67	0,9	1,5	2,24	2,65	3,55
3,15	0,16	0,235	0,35	0,6	0,8	1,32	2	2,35	3,15
4	0,14	0,212	0,31	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
5	0,14	0,212	0,31	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
6,3	0,14	0,212	0,31	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
8	0,14	0,212	0,31	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
10	0,18	0,265	0,40	0,67	0,9	1,5	2,24	2,65	3,55
12,5	0,224	0,335	0,50	0,85	1,12	1,9	2,8	3,35	4,5
16	0,28	0,425	0,63	1,06	1,4	2,36	3,55	4,25	5,6
20	0,355	0,53	0,80	1,32	1,8	3	4,5	5,3	7,1
25	0,45	0,67	1,00	1,7	2,24	3,75	5,6	6,7	9
31,5	0,56	0,85	1,25	2,12	2,8	4,75	7,1	8,5	11,2
40	0,71	1,06	1,60	2,65	3,55	6	9	10,6	14
50	0,9	1,32	2,00	3,35	4,5	7,5	11,2	13,2	18
63	1,12	1,7	2,50	4,25	5,6	9,5	14	17	22,4
80	1,4	2,12	3,15	5,3	7,1	11,8	18	21,2	28

Os valores acima definem o limite em termos de valor eficaz (RMS) da vibração de frequência simples (senoidal) ou valor eficaz na banda de um terço de oitava para a vibração distribuída.

Fonte: Adaptado de (ISO, 1978).

Legenda: Faixa utilizada no estudo ()

Tabela 3. Valores numéricos de “nível de eficiência reduzida” para aceleração de vibração na direção transversa (eixos x e y).

Frequência (centro da banda de 1/3 de oitava)	Aceleração (m/s ²)								
	Tempo de Exposição								
	24 h	16 h	8 h	4 h	2,5 h	1 h	25 min	16 min	1 min
1	0,1	0,15	0,22	0,355	0,5	0,85	1,25	1,5	2
1,25	0,1	0,15	0,22	0,355	0,5	0,85	1,25	1,5	2
1,6	0,1	0,15	0,22	0,355	0,5	0,85	1,25	1,5	2
2	0,1	0,15	0,22	0,355	0,5	0,85	1,25	1,5	2
2,5	0,125	0,19	0,28	0,45	0,63	1,06	1,6	1,9	2,5
3,15	0,16	0,236	0,35	0,56	0,8	1,32	2	2,36	3,15
4	0,2	0,3	0,45	0,71	1	1,7	2,5	3	4
5	0,25	0,375	0,56	0,9	1,25	2,12	3,15	3,75	5
6,3	0,315	0,475	0,71	1,12	1,6	2,65	4	4,75	6,3
8	0,4	0,6	0,90	1,4	2	3,35	5	6	8
10	0,5	0,75	1,12	1,8	2,5	4,25	6,3	7,5	10
12,5	0,63	0,95	1,40	2,24	3,15	5,3	8	9,5	12,5
16	0,8	1,18	1,80	2,8	4	6,7	10	11,8	16
20	1	1,5	2,24	3,55	5	8,5	12,5	15	20
25	1,25	1,9	2,80	4,5	6,3	10,6	16	19	25
31,5	1,6	2,36	3,55	5,6	8	13,2	20	23,6	31,5
40	2	3	4,50	7,1	10	17	25	30	40
50	2,5	3,75	5,60	9	12,5	21,2	31,5	37,5	50
63	3,15	4,75	7,10	11,2	16	26,5	40	45,7	63
80	4	6	9,00	14	20	33,5	50	60	80

Fonte: Adaptado de (ISO, 1978)

Legenda: Faixa utilizada no estudo ()

Para geração dos demais gráficos, os valores de nível de eficiência reduzida (NER) apresentados nas Tabelas 2 e 3 foram divididos por 3,15, para a confecção da curva de NCR, e multiplicados por 2, para LE, gerando então os limites de tais especificações.

Os resultados foram comparados aos valores recomendados pela norma ISO 2631 (ISO, 1978), para os valores de limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER), ambos considerando o período diário de trabalho de oito horas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas 4 e 5 estão representados os valores de frequência média e desvio padrão respectivamente dos sete tratores em estudos em cada eixo de direção, nos terrenos de asfalto, terra e campo para o intervalo estudado de 5 Hz até 10 Hz.

Tabela 4. Valores de média referentes aos eixo x, y e z, para os tratores operando em todos os terrenos.

MÉDIA ASFALTO	EIXO X	EIXO Y	EIXO Z
A	1,33425	1,2675	1,693
B	2,0705	1,7635	1,84675
C	1,81725	1,42575	1,1165
D	1,033	0,86575	0,6935
E	1,072	0,90175	1,02575
F	0,837	0,893	0,63975
G	2,05	1,7	1,925

MÉDIA TERRA	EIXO X	EIXO Y	EIXO Z
A	1,465	1,3675	1,535
B	1,8375	1,78	2,075
C	1,6645	1,3345	1,08275
D	1,97775	1,71175	1,15825
E	1,81125	1,6265	2,46
F	1,11525	1,11175	1,15525
G	1,125	1,1	0,875

MÉDIA CAMPO	EIXO X	EIXO Y	EIXO Z
A	1,46	1,335	1,35225
B	1,545	1,265	1,3175
C	0,88975	0,56	0,76625
D	1,134	0,87225	0,859
E	2,6625	2,61	5,8775
F	2,645	2,47	1,88825
G	2,2225	1,99	2,0825

Tabela 5. Valores de desvio padrão referentes aos eixo x, y e z, para os tratores operando em todos os terrenos.

DESVIO PADRÃO ASFALTO				DESVIO PADRÃO TERRA			
	EIXO X	EIXO Y	EIXO Z		EIXO X	EIXO Y	EIXO Z
A	0,586014	0,273663	0,962212	A	0,430542	0,283711	0,938305
B	2,093186	1,433414	1,72917	B	0,338071	0,237206	0,287692
C	1,519027	1,138869	1,509775	C	1,078308	0,662984	0,508216
D	0,399127	0,391202	0,426052	D	1,763232	1,612931	0,484236
E	0,585865	0,623638	0,446105	E	0,984889	1,14643	0,477982
F	0,581869	0,601728	0,569597	F	0,423742	0,339201	0,781254
G	2,501333	1,737815	1,795132	G	0,330404	0,244949	0,262996

DESVIO PADRÃO CAMPO			
	EIXO X	EIXO Y	EIXO Z
A	0,321248	0,164215	0,164215
B	0,286415	0,193649	0,193649
C	0,471193	0,316758	0,316758
D	0,622038	0,409488	0,409488
E	1,667021	0,863713	0,863713
F	2,186817	1,208249	1,208249
G	1,640353	1,069673	1,069673

Nota-se que independente do terreno analisado, quando avaliados os dois eixos transversais, X e Y, sempre temos valores de média maiores no eixo X, este fato ocorre pois o eixo X representa as vibrações que acontecem devido a aceleração e freagem da máquina agrícola, já que este eixo representa uma direção que transpassa das costas do operador até o seu peito.

As Figuras 8, 9 e 10 ilustram os valores de vibração estudadas com as máquinas agrícolas no terreno asfalto, sendo esses os valores encontrados na vibração para a banda de terça de oitava em que foram medidos os três eixos (x, y e z). Para efeito de comparação, foram empregues valores propostos pela norma ISO 2631 (ISO, 1978), no que se refere aos valores de nível de eficiência reduzida (NER), limite de exposição (LE) e nível de conforto reduzido (NCR), sendo de oito horas o período diário de trabalho.

Figura 8. Aceleração (eixo x) para bandas 1/3 de oitava, para os tratores operando em asfalto de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

Figura 9. Aceleração (eixo y) para bandas 1/3 de oitava, para os tratores operando em asfalto de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

Figura 10. Aceleração (eixo z) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em asfalto de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

Na análise das Figuras 8, 9 e 10, referentes ao terreno de asfalto, nota-se que para todos os tratores, há uma grande queda nos valores de aceleração quando ela está entre um intervalo de frequência de 5 a 10 Hz. Embora para frequências mais altas e mais baixas os tratores apresentem comportamentos diferentes, dentro da faixa analisada, o comportamento dos sete tratores segue um padrão parecido. Para os eixos x e y nota-se uma constante ultrapassagem nos valores estipulados para NER e NCR, entretanto pouca extrapolação quanto a LE é observada. Quanto ao eixo z, percebe-se o frequente excesso para todas as curvas limite utilizadas (NER, LE e NCR). Haja vista a maior influência das vibrações oriundas do eixo z nos distúrbios da coluna vertebral, a constante ultrapassagem dos limites ressalta não somente uma redução do conforto em função das ultrapassagens de NCR, assim como a redução da qualidade do trabalho devido a passagem de NER, como também a possibilidade do desenvolvimento de doenças com a ultrapassagem de LE.

As figuras 11, 12 e 13 ilustram os valores de vibração estudadas com as máquinas agrícolas no terreno terra, sendo esses os valores encontrados na vibração para a banda de terça de oitava em que são medidos os três eixos (x, y e z).

Figura 11. Aceleração (eixo x) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em terra de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

Figura 12. Aceleração (eixo y) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em terra de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

Figura 13. Aceleração (eixo z) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em terra de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

Apesar do terreno de terra, os sete tratores apresentaram um comportamento mais próximo em seus padrões de vibração, independente da faixa analisada, seja superior ou inferior à faixa de estudo, quando dentro da faixa de estudo houve a extrapolação de LE com maior frequência para os eixos x e y, principalmente quando na frequência de 10 Hz. Ressalta-se que no intervalo de faixa estudada poucas vezes os valores de aceleração estiveram dentro os limites de NER, e por nenhuma vez se enquadraram dentro de NCR. Na análise do eixo z, poucos tratores, e em poucas frequências analisadas, apresentaram valores de aceleração dentro de LE, consequentemente extrapolando os limites de NCR e NER nas frequências de 5 a 10 Hz por todas às vezes. Mais uma vez ficam evidentes os riscos a que estão expostos os operadores de tais máquinas, uma vez que a frequente ultrapassagem de LE ressalta a possibilidade do desenvolvimento enfermidades vinculadas à coluna vertebral, uma vez que autores citam a faixa de 10 Hz como uma das principais causadoras de malefícios a tal conjunto da estrutura corporal.

Comparando as figuras do terreno de terra com o de asfalto pode-se admitir que não houve um decréscimo nos valores de vibração na faixa estudada. Este evento pode ser justificado pelo fato de mesmo com a presença da compactação, o terreno denominado terra ainda apresenta maior irregularidade do que o asfalto, uma vez que nas duas situações o trator realizava o mesmo esforço.

E por fim, as figuras 14, 15 e 16 ilustram os valores de vibração estudadas com as máquinas agrícolas no terreno campo, sendo esses os valores encontrados na vibração para a banda de terça de oitava em que são medidos os três eixos (x, y e z).

Figura 14. Aceleração (eixo x) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em campo de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

Figura 15. Aceleração (eixo y) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em campo de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

Figura 16. Aceleração (eixo z) para banda 1/3 de oitava, para os tratores operando em campo de acordo com a norma ISO 2631 (ISO, 1978) para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

No terreno de campo, nota-se outra vez certo padrão, mesmo que com espaçamento nos valores de aceleração, na variação quanto às frequências coletadas. Para os eixos x e y é mais uma vez notável as curvas descendentes quando em aproximação à faixa entre 5 e 10 Hz, assim como os aumentos notados após a passagem por essa faixa. Ainda para estes eixos, nota-se a constante extrapolação de NCR e NER para a faixa de estudo, com alguns tratores ainda ultrapassando os limites de LE por algumas vezes. Para o eixo z percebe-se alguma proximidade de comportamento dos espectros, porém não tão notória quanto à notada em x e y. Nesta parte se nota que existe uma maior incidência de ultrapassagem dos limites estipulados pela curva de LE dentro da faixa de comprimento de onda estipulada, com poucas ocorrências de tratores dentro dos limites de NER e nenhuma incidência de conformidade quando NCR. A permanência de tratores ultrapassando os limites de LE continuam a demonstrar a possibilidade do desenvolvimento de doenças ocupacionais em função da vibração incidentes, assim como redução de produtividade em função da extrapolação de NER e redução do bem-estar do operador devido a superação dos limites de NCR.

Embora a faixa estipulada para as análises se encontre entre os 5 e 10 Hz, notam-se picos de aceleração nos espectros do eixo z, para todos os terrenos, na faixa entre 2 e 4 Hz. Resultados semelhantes foram observados por Fernandes et al. (2003) ao avaliar um trator de 75 cv, relacionando tais resultados à ineficiência do sistema de amortecimento do assento do operador e ressaltando a necessidade de estudos para que molas e suspensão possam sintonizar certas frequências de vibração e assim amenizá-las. O mesmo pode ser extrapolado para as frequências entre 5 e 10 Hz, que embora se apresentem com valores de aceleração menores, as mesmas continuam a ultrapassar as faixas limítrofes para LE, NCR e NER. No entanto pode-se levantar que tais picos entre 2 e 4 Hz possam ser propositais uma vez que se apresentam em quase todos os tratores. Uma explicação para tal pode ser uma preocupação da fabricante quanto à concentração dos picos em tais frequências, uma vez que estas seriam de menor importância no que diz respeito a doenças ocupacionais.

Algo a ser discutido mais especificamente para o terreno campo, é o fato de que alguns dos tratores mais novos avaliados terem apresentado valores de aceleração maiores que os limites para a faixa estudada. Observando as Figuras 14, 15 e 16 percebe-se que os tratores que por mais vezes ultrapassaram os limites, seja LE, NCR ou NER, foram o trator E e F, ambos fabricados em 2011. Isso ressalta que mesmo os tratores fabricados mais recentemente ainda possuem necessidade de uma melhoria ergonômica relacionada a sua vibração. Uma ressalva a se fazer é quanto ao trator G, que embora seja um trator também

considerado novo e tenha por característica possuir uma maior potência que os demais, este apresentou valores de aceleração dentro de LE por mais vezes que os demais. Tal fato pode ser relacionado também ao fato de o mesmo possuir cabine fechada e ser o trator com o maior peso entre os sete tratores do estudo, o que pode lhe fornecer maior estabilidade enquanto está em movimento.

Independente do terreno, todos os tratores apresentaram valores de aceleração ultrapassando os limites de LE nas avaliações do eixo z. Isso é reflexo da diferença entre os limites estabelecidos para os eixos x e y, e para o eixo z, o qual possui limites mais restritivos que os primeiros. O fato de os limites estabelecidos para o eixo z serem mais restritivos se justifica devido a sua influência em doenças ortopédicas, principalmente as que interferem na coluna vertebral, as quais são uma das principais preocupações nos estudos de vibração.

Levando em conta todos os fatores analisados, é visto uma carência de estudos na área em questão, e também se nota que podem ser feitos mais estudos relacionados as origens dos níveis de vibração emitidos por tratores agrícolas de maneira a ser proporcionar melhores condições ergonômicas aos operadores dessas máquinas.

5. CONCLUSÕES

- Os sete tratores estudados em algum intervalo dentro da faixa de 5 Hz à 10 Hz analisada, apresentaram níveis de vibração superiores aos limiares estabelecidos pela ISO 2631 (1978) em pelo menos algum dos seus três parâmetros, Nível de Conforto Reduzido, Nível de Eficiência Reduzida ou Limite de Exposição.
- Em todos os terrenos quando estudado o eixo z, a faixa de Limite de Exposição (LE) foi ultrapassada, isso gera grande preocupação, já que esse eixo é o principal eixo relacionado as doenças relativas à coluna vertebral.
- Existe a necessidade de maiores estudos para um maior aprofundamento na área, bem como estudo das origens dos níveis de vibração emitidos por tratores agrícolas de forma a fornecer melhores condições de trabalho aos operadores dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. D. S. et al. **Níveis de potência sonora emitidos por trator agrícola em condições estáticas e dinâmicas**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 41, p. 110-119, 2011.
- 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.
- ANTONUCCI, A. E. et al. **Perception of occupational risk by rural workers in an area of central Italy**. Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents, Milano, v. 26, p. 439-445, 2012.
- BERASATEGUI, M. B. R. **Modelización y simulación del comportamiento de um sistema mecánico com suspensión aplicado a los asientos de los tractores agrícolas**. 264 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2000.
- BOSHUIZEN, H.C.; BONGERS, P.M.; HULSHOF, C.T.. **Self-reported back pain in tractor drivers exposed to whole-body vibration**. Int Arch Occup Environ Health; 62: p. 109–115, 1990.
- BURSTROM, L., NILSSON, T., WAHLSTROM, J. **Whole-body vibration and the risk of low back pain and sciatica: a systematic review and meta-analysis**. Int. Archives Occup. Environ. Health 88 (4), p. 403–418, 2015.
- CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; DE SOUZA, C. M. A. **Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas**. Idesia, Arica, v. 30, p. 25-34, 2012.
- CUTINI, A.; COSTA, C.; BISAGLIA, C. **Development of a simplified method for evaluating agricultural tractor's operator whole body vibration**. Journal of Terramechanics, v. 63, n. 1, p. 23-32, 2016.
- CVETANOVIC, BOBAN et al. **An analysis of the impact of agricultural tractor seat cushion materials to the level of exposure to vibration**. Journal Of Low Frequency Noise, Vibration And Active Control, [s.l.], v. 36, n. 2, p.116-123. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0263092317711983>, 2017.
- 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, p. 26-31, 2003.
- FILIP, N.; CANDALE, L. **Researches regarding the noise conversion from tractor engine in order to reduce the intake manifold noise**. Aktualni Zadaci Mehanizacije Poljoprivrede, Zagreb, v. 40, p. 141-47, 2012.

- FRANCHINI, D.. **Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/987#resultado>> . Acesso em: 21 jan. 2019.
- IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Prática**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2016.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631: Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration**. 2. ed. Geneva: ISO, 1978.
- JOHNSON, P.W., Dennerlein, J.T., Ramirez, L.M., Arias, C., Escallón, A.C.R., Aulck, L., Piedrahita, H., Barrero, L.H. **Assessment of continuous and impulsive whole body vibration exposures in heavy equipment mining vehicles**. In: Proceedings of the 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Melbourne, Australia, 2015.
- KIM, J.H., ZIGMAN, M., AULCK, L.S., IBBOTSON, J.A., DENNERLEIN, J.T., JOHNSON, P.W. **Whole body vibration exposures and health status among professional truck drivers: a cross-sectional analysis**. Ann. Occup. Hyg. 60 (8), p. 936–948, 2016.
- KYUHYUN, S.; HWAYOUNG, L.; YOON, J. W.; CHANHO, C.; HWANG, S. H. **Effectiveness evaluation of hydro-pneumatic and semi-active cab suspension for the improvement of ride comfort of agricultural tractors**. Journal of terramechanics, v. 69, n. 1, p. 23-32, 2017.
- LANGER, T.H., EBBESEN, M.K., KORDESTANI, A. **Experimental analysis of occupational whole-body vibration exposure of agricultural tractor with large square baler**. Int. J. Ind. Ergon. p. 79–83. 2015.
- MANDAPURAM, S.; PAKHEJA, S.; BOILEAU, P.E., et al. **Energy absorption of seated body exposed to single and three-axis whole body vibration**. J Low Freq Noise Vib Active Control, 34: p. 21–38, 2015.
- MARQUÉZ, L.. **Tractores agrícolas: Tecnología y utilización**. Madrid: B & H Editores, p. 844, 2012.
- NORMA REGULAMENTADORA DO MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR-15 - Atividades e Operações Insalubres**. 2009.
- RAO, S. S. **Vibrações mecânicas**. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- RAUSER, E.S.C., WILLIAMS, J. **Trucking Industry: Examining Injuries for Prevention, 2006-2012**. Washington State Department of Labor & Industries, 2014.
- SANTOS, J. E. G. et al. **Ergonomia aplicada em tratores agrícolas e florestais**. In: MONTEIRO, L. A. Prevenção de acidentes com tratores agrícolas. Botucatu: Editora Diagrama, cap. 3, p. 51-75, 2010.

- SANTOS, L. N. et al. **Avaliação dos níveis de ruído e vibração de um conjunto tratorpulverizador, em função da velocidade de trabalho.** Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 112-114, 2014.
- SANTOS FILHO, P. F. et al. **Utilização de um sistema de aquisição automática de dados para avaliação dos níveis de ruído de um trator agrícola de pneus.** Revista Árvore, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 381-386, 2004.
- SCARLETT, A.; PRICE, J.; SEMPLE, D.; STAYNER, R. **Whole-body vibration on agricultural vehicles.** Research report, Silsoe Research Institute and RMS Vibration Test Laboratory for the Health and Safety Executive, 2005.
- SCHLOSSER, J. F.; DEBIASI, H. **Acidentes com tratores agrícolas: caracterização e prevenção.** Santa Maria: UFSM, 2001.
- SELL, I.. **Projeto do trabalho humano: Melhorando as condições de trabalho.** Florianópolis: UFSC, p. 470, 2002.
- SERVADIO, P.; MARSILI, A.; BELFIORE, N. P. **Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors.** Biosystems Engineering, Kidlington, v. 97, n. 2, p. 171-180, 2007.
- SILVA, P. R. A. **Precauções de segurança nas operações com equipamentos agrícolas.** In: MONTEIRO, L. A. Prevenção de acidentes com tratores agrícolas. Botucatu: Diagrama, cap. 2, p. 33-50, 2010.
- SILVA, S. L. **Máquinas e mecanização agrícolas.** Cascavel: [s.n.]. Apostila. 2005.
- TEWARI, V. K. & DEWANGAN, K. N. **Effect of vibration isolators in reduction of work stress during field operation of hand tractor.** Biosystems Engineering, Kidlington, v. 103, n. 2, p. 146-158, 2009.
- WANG, F. Y., Ma, M. X. **Design Guide for Automotive Design Course.** China Electric Power Press, Beijing, 2009.
- ZHAO, X., SCHINDLER, C. **Evaluation of whole-body vibration exposure experienced by operators of a compact wheel loader according to ISO 2631-1:1997 and ISO 2631-5:2004.** Ind. Ergon. J. 44 (6), p. 840-850, 2014.

ANEXOS

ANEXO A - Analisador de vibração modelo HD-2030HA-WB (Especificações Técnicas)

TECHNICAL SPECIFICATIONS

The HD2030 vibrations analyzer is able to detect the accelerations in four axis. The sensors that can be connected are IEPE type with amplifying integrated electronics, triaxial or monoaxial type. Three axes are grouped in the right channel that supports triaxial or monoaxial type accelerometers; the fourth axis is associated with the left channel that supports monoaxial accelerometers. The instrument analyzes the signal provided by the accelerometers and elaborates the four axes data at the same time. The instrument perform octave or third-octave bands spectrum analysis and statistical analysis.

For Whole-Body measurements, the detected values are indicated in the following tables:

WHOLE BODY										
Weightings [μV]	Fz	Fa	Wb	Wc	Wd	We	Wj	Wk		
	21	14	8	13	13	11	10	9		
Central Frequency octave bands [Hz]	0.5	1	2	4	8	16	32	63	125	250
Self generated Noise [μV]	8	6	5	3	5	2	2	3	3	3
Central Frequency third-octave bands [Hz]	0.32	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
Self generated Noise [μV]	5	5	4	4	4	4	3	3	3	2
Central Frequency third-octave bands [Hz]	3.2	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25
Self generated Noise [μV]	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
Central Frequency third-octave bands [Hz]	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Self generated Noise [μV]	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2

Linearity range

The linearity range is independent from the frequency and it is equal to **80dB**. The maximum measurable level depends on the gain of the input amplifier as indicated in the following table:

Gain [dB]	Lower Limit [mVrms]	Upper Limit [Vrms]
0	0.7	7
10	0.22	2.24
20	0.07	0.7

As an example, following are indicated the linear ranges for two different sensitivity of the accelerometer.

Gain [dB]	Linear range with accelerometer			
	Sensitivity 10mV/g ~ 1mV/m/s ²		Sensitivity 1V/g ~ 100mV/m/s ²	
	0.7 ÷ 7000 m/s ²	117 ÷ 197 dB	0.7 cm/s ² ÷ 70 m/s ²	77 ÷ 157 dB
0	0.7 ÷ 7000 m/s ²	117 ÷ 197 dB	0.7 cm/s ² ÷ 70 m/s ²	77 ÷ 157 dB
10	0.22 ÷ 2240 m/s ²	107 ÷ 187 dB	0.22 cm/s ² ÷ 22.4 m/s ²	67 ÷ 147 dB
20	0.07 ÷ 700 m/s ²	97 ÷ 177 dB	0.07 cm/s ² ÷ 7 m/s ²	57 ÷ 137 dB

Integration Time

The integration time can be set from a minimum of 1s to a maximum of 99 hours.

Crosstalk

The crosstalk between channels is <100dB@1kHz.

Reference conditions

- The measure range is the one with input gain equal to 10dB.
- The level is equal to 10mV corresponding to 140dB or 10m/s^2 for an accelerometer with a sensitivity equal to 10mV/g.

Operating conditions

- Storage temperature: $-25 \div 70^\circ\text{C}$.
- Working temperature: $-10 \div 50^\circ\text{C}$.
- Protection Degree: IP64.

Drift

- Temperature: $\pm 0.3\text{dB}$ over the range $-10 \div 50^\circ\text{C}$.

ELECTRICAL FEATURES**Pre-heating time**

Less than 1 minute.

Power supply

- Internal batteries: 4 x 1.5 V alkaline or NiMH rechargeable batteries type AA. The instrument does not charge the batteries.
- Autonomy: > 10 hours in acquisition (RUN) mode with good quality alkaline batteries.
- External batteries: it is possible to connect an external battery pack to the instrument through the male connector for external power supply ($\varnothing 5.5\text{mm}-2.1\text{mm}$ pin). The positive pole has to be connected to the central pin. The battery has to supply $9 \div 12\text{V}$ with at least 300mA/h. The maximum limit for external supply is 15V.
- Mains: mains adaptor with $9 \div 12\text{Vdc}/300\text{mA}$ direct voltage.
- Switching off: automatic, it can be disabled.

When the batteries voltage is less than 3.8V, the instrument is not able to measure. However, it is still possible to view and download the memorized data.

Under 3.5V the instrument switches itself off automatically. The memorized data, the configuration and the calibration parameters are kept also without power supply.

Maximum input levels

The input signal must be in the range $0\text{V} \div 25\text{V}$.

LINE outputs

- Multi-pole circular connector (LEMO)
- Pre-amplified signal not pondered with an gain equal to 0.1V/V.
- Linearity: 110dB with maximum output level equal to 1.5Vrms.
- Series impedance: 1k Ω
- Typical load: 100k Ω

TRGOUT output

- Jack stereo socket $\varnothing 3.5\text{mm}$
- Digital output $0 \div 3.3\text{V}$ short-circuit protected
- Pull-up impedance : 1k Ω
- Pull-down impedance: 30 Ω

TRGIN input (Advanced Analyzer option)

- Jack stereo socket $\varnothing$ 3.5mm
- Current input: threshold 0.5mA max 20mA
- Voltage input: threshold 2V max 10V
- Series impedance: 470 Ω

RS232 Serial Interface:

- Socket: MiniDin 8 poles.
- Type: RS232C (EIA/TIA574) not isolated
- Baud rate: from 300 to 115200baud
- Data bit: 8
- Parity: None
- Stop Bit: 1
- Flow Control: Hardware
- Cable length: max 15m

USB Serial Interface:

- Socket: USB-B
- Type: USB 1.1 o 2.0 with 500mA

STATISTIC ANALYSIS

1s sampling.

1dB classes.

Calculation and visualization of the statistical graphs.

Graph of the probability distribution of the levels.

Graph of the percentile levels from L_1 to L_{99} .

ANEXO B - Laudo de calibração do analisador de vibração humana HD-2030HA-WB

Delta OHM
LABORATORI METROLOGICI

Delta OHM S.r.l. 35030 Caselle di Selvazzano (PD)
Via Marconi 5 - ITALY Tel. 0039-0498977150
Fax 0039-049635596 - e-mail: : info@deltaohm.com
Web Site: www.deltaohm.com

Pagina 1 di 9
Page 1 of 9

RAPPORTO DI TARATURA N. 20130130V
Calibration Report No.
Analizzatore di vibrazioni

Si riferisce a
Referring to

- Data di emissione date of issue	2013/10/7
- destinatario addressee	Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda - 02911 - 060 Sao Paulo (Brazil)
- richiesta application	017776
- in data Date	2013/09/02
- registro di laboratorio laboratory reference	1030
- data delle misure date of measurements	2012/6/29
- costruttore manufacturer	Delta Ohm S.r.l.
- modello model	HD2030
- matricola serial number	12062930149

I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando le procedure citate alla pagina seguente, dove sono specificati anche i campioni di prima linea da cui inizia la catena di riferibilità del Centro e i rispettivi certificati di taratura, in corso di validità. Essi si riferiscono esclusivamente all'oggetto in taratura e sono validi nel momento e nelle condizioni di taratura, salvo diversamente specificato.

The measurement results reported in this Certificate were obtained following the procedures given in the following page, where the reference standards are indicated as well, from which starts the traceability chain of the laboratory, and the related calibration certificates in their course of validity. They relate only to the calibrated item and they are valid for the time and conditions of calibration, unless otherwise specified.

Le incertezze di misura dichiarate in questo documento sono state determinate conformemente al documento EA-4/02 e sono espresse come incertezza estesa ottenuta moltiplicando l'incertezza tipo per il fattore di copertura k corrispondente ad livello di fiducia di circa il 95%. Normalmente tale fattore k vale 2.

The measurement uncertainties stated in this document have been determined according to EA-4/02. They were estimated as expanded uncertainty obtained multiplying the standard uncertainty by the coverage factor k corresponding to a confidence level of about 95%. Normally, this factor k is 2.

Lo sperimentatore
Operator
Andrea Manzo

Rapporto di taratura n. 20130130V
Report of calibration no

I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando le procedure N. DHLV - E - 01, per la verifica della conformità del misuratore di vibrazioni alla normativa internazionale ISO 8041:2005.
The measurement results reported in this Certificate were obtained following procedures No. DHLV - E - 01, for compliance verification of vibration measuring instrumentation with international standard ISO 8041:2005.

Incertezze

Le incertezze di misura dichiarate in questo documento e riportate nella tabella successiva, sono espresse come due volte lo scarto tipo (2σ), corrispondente, nel caso di distribuzione normale, ad un livello di confidenza di circa 95%.

Prova	Campo di misura [Vrms]	Frequenza di taratura [Hz]	Incertezza associata alla stima [%] e [dB]
- Sovraccarico - - Sottocampo - - Linearità - - Media temporale - - Vettore -	70uV ÷ 7V	Mano-Braccio: 80 Hz Corpo Intero ed Edifici: 16 Hz	2 % 0.17 dB
- Rumore autogenerato - - Risposta in frequenza - - Risposta ai treni d'onda -	10mV ÷ 7V	Mano-Braccio: 2 Hz ÷ 2 kHz Corpo Intero ed Edifici: 0.25 Hz ÷ 250 Hz	3 % 0.25 dB

Campioni di riferimento

Campioni di Prima linea	Costruttore	Modello	Numero di serie	Certificato Numero
Multimetro	HP	3458A	2823A21870	INRIM 10-0444-01

Campioni di seconda linea	Costruttore	Modello	Numero di serie
Multimetro	HP	3458A	2823A09516
Gen. Di funzioni	SRS	DS360	33960
Gen. Di funzioni	Agilent	33220A	MY44000238
Unità di commutazione	Agilent	34970A	MY41007306

Strumentazione in taratura

Strumento	Costruttore	Modello	Numero di serie
Misuratore di vibrazioni	Delta Ohm S.r.l.	HD2030	12062930149

ANEXO C - Acelerômetro em formato de assento, modelo 356B41, PCB Piezotronics (Especificações Técnicas)

Model Number 356B41		TRIAX ICP® SEAT PAD ACCELEROMETER PER ISO 10326-1		Revision: C ECN #: 47343	
Performance		ENGLISH		SI	
Sensitivity(± 10 %)		100 mV/g		10.2 mV/(m/s²)	
Measurement Range		± 10 g pk		± 98 m/s² pk	
Frequency Range(± 5 %)		0.5 to 1000 Hz		0.5 to 1000 Hz	
Resonant Frequency		≥ 27 kHz		≥ 27 kHz	
Broadband Resolution(1 to 10,000 Hz)		0.0002 g rms		0.002 m/s² rms	
Non-Linearity		≤ 1 %		≤ 1 %	
Transverse Sensitivity		≤ 5 %		≤ 5 %	
Environmental					
Overload Limit(Shock)		± 2000 g pk		± 19,620 m/s² pk	
Temperature Range		-10 to 122 °F		-23 to 50 °C	
Temperature Response		<0.10 %/°F		<0.17 %/°C	
Electrical					
Excitation Voltage		6.5 to 30 VDC		6.5 to 30 VDC	
Constant Current Excitation		0.3 to 10 mA		0.3 to 10 mA	
Output Impedance		≤ 500 Ohm		≤ 500 Ohm	
Output Bias Voltage		2.8 to 4.5 VDC		2.8 to 4.5 VDC	
Discharge Time Constant		1 to 3 sec		1 to 3 sec	
Settling Time(within 10% of bias)		<20 sec		<20 sec	
Spectral Noise(1 Hz)		50 µg/√Hz		490 (µm/sec²)/√Hz	
Spectral Noise(10 Hz)		10 µg/√Hz		98 (µm/sec²)/√Hz	
Spectral Noise(100 Hz)		4 µg/√Hz		39 (µm/sec²)/√Hz	
Spectral Noise(1 kHz)		2 µg/√Hz		20 (µm/sec²)/√Hz	
Physical					
Sensing Element		Ceramic		Ceramic	
Sensing Geometry		Shear		Shear	
Housing Material		Titanium		Titanium	
Sealing		Hermetic		Hermetic	
Size (Diameter x Width)		7.87 in x 0.472 in		200 mm x 12 mm	
Weight		9.6 oz		272 gm	
Electrical Connector		Integral Cable		Integral Cable	
Electrical Connection Position		Side		Side	
Cable Termination		1/4-28 4-Pin Jack		1/4-28 4-Pin Jack	
Cable Length		5 ft		1.5 m	
Cable Type		010 4-cond Shielded		010 4-cond Shielded	
Mounting Thread		5-40 Female		5-40 Female	
CE					
</

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.

ANEXO D - Laudo de calibração do acelerômetro modelo 356B41, marca PCB Piezotronics.

~ Calibration Certificate ~
Per ISO 16063-21

Model Number: 356B41/100-6981-40

Serial Number: 148592 (x axis)

Description: ICP® Triaxial Accelerometer

Manufacturer: PCB Method: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz 103.4 mV/g Output Bias 4.2 VDC
(10.54 mV/m/s²) Transverse Sensitivity 3.1 %

Sensitivity Plot

Temperature: 72 °F (22 °C) Relative Humidity: 44 %

Data Points

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
0.5	0.1	10	0.1	70	-0.5
1	0.9	15	-0.1	REF. FREQ.	0.0
2	0.8	20	-0.2		
5	0.4	30	-0.5		
7	0.2	50	-0.6		

Mounting Surface: Aluminum Fixture Fastener: Stud Fixture Orientation: Inverted Vertical
Acceleration Level (g): 1.00 g (9.81 m/s²)
*The acceleration level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the listed level cannot be obtained, the calibration system uses the following formula to set the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 0.18 x (freq)². *The gravitational constant used for calculations by the calibration system is: 1 g = 9.80665 m/s²

Condition of Unit

As Found: n/a

As 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: 6/20/2013

PCB PIEZOTRONICS
VIBRATION DIVISION
3425 Walden Avenue Depew, NY 14043
TEL: 888-684-0013 FAX: 716-685-3886 www.pcb.com

ACCREDITED
CALIBRATION CERT #1862.01
FNS: 1 of 3

ACS-17

~ Calibration Certificate ~

Per ISO 16063-21

Model Number: 356B41/100-6981-40Serial Number: 148592 (x axis)Description: ICP® Triaxial AccelerometerManufacturer: PCBMethod: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz 103.4 mV/g (10.54 mV/m/s²)

Phase Plot

Data Points

Frequency (Hz)	Phase (°)	Frequency (Hz)	Phase (°)
0.5	7.4	30	-0.6
1	3.5	50	-0.5
2	1.5	70	-0.7
5	0.3	REF. FREQ.	-0.9
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 Ferrio MAFDate: 6/20/2013

3425 Walden Avenue Depew, NY 14043
 TEL: 833-684-0013 FAX: 716-685-3886 www.pcb.com

PAGE 2 of 2
ACS-17

CAL28.1454901711.76100

~ Calibration Certificate ~
Per ISO 16063-21

Model Number: 356B41/100-6981-40

Serial Number: 148592 (y axis)

Description: ICP® Triaxial Accelerometer

Manufacturer: PCB Method: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz **105.6 mV/g** Output Bias 3.6 VDC
(10.77 mV/m/s²) Transverse Sensitivity 2.3 %

Sensitivity Plot

Temperature: 72 °F (22 °C) Relative Humidity: 43 %

Hz

Data Points					
Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
0.5	-0.1	10	-0.3	70	-0.4
1	0.5	15	-0.3	REF. FREQ.	0.0
2	0.4	20	-0.5		
5	0.0	30	-0.7		
7	-0.3	50	-0.8		

Mounting Surface: Aluminum Fixture - Fastener Stud - Fasteners Orientation: Vertical
Acceleration Level (g_{rms}): 100 g (9.81 m/s²)
*The acceleration level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the listed level cannot be obtained, the calibration system uses the following formula to set the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 0.185 * (freq)^{1.35} * The gravitational constant used for calculations by the calibration system is: 1 g = 9.80665 m/s²

Condition of Unit

As Found: n/a
As 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: 6/20/2013

PCB PIEZOTRONICS
VIBRATION DIVISION
3425 Walden Avenue Depew, NY 14043
TEL: 888-684-0013 FAX: 716-685-3886 www.pcb.com

ACCREDITED
CALIBRATION CERT #1822.01
PAGE 1 OF 2
ACS-17
CAL28-74547504196-211-06

~ Calibration Certificate ~

Per ISO 16063-21

Model Number: 356B41/100-6981-40Serial Number: 148592 (y axis)Description: ICP® Triaxial AccelerometerManufacturer: PCBMethod: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz 105.6 mV/g (10.77 mV/m/s²)

Phase Plot

Data Points

Frequency (Hz)	Phase (°)	Frequency (Hz)	Phase (°)
0.5	6.6	30	-0.4
1	3.1	50	-0.5
2	1.3	70	-0.6
5	0.3	REF. FREQ.	-0.8
7	0.0		
10	-0.1		
15	-0.2		
20	-0.3		

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 MAF Date: 6/20/2013

PCB PIEZOTRONICS
VIBRATION DIVISION

3425 Walden Avenue Depew, NY 14043
TEL: 888-684-0013 FAX: 716-685-3856 www.pcb.com

PAGE 2 of 3

CAL28 2434794190 231-01

~ Calibration Certificate ~

Per ISO 16063-21

Model Number: 356B41/100-6981-40Serial Number: 148592 (z axis)Description: ICP® Triaxial AccelerometerManufacturer: PCBMethod: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz

103.9 mV/g

Output Bias

3.9 VDC

(10.59 mV/m/s²)

Transverse Sensitivity

2.1 %

Sensitivity Plot

Data Points

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
0.5	1.6	10	1.0	70	0.1
1	1.9	15	0.8	REF. FREQ.	0.0
2	1.7	20	0.6		
5	1.3	30	0.4		
7	1.0	50	0.1		

Mounting Surface: Aluminum Fixture Fastener: Stud Fixture Orientation: Vertical

Acceleration Level (g): 1.00 g (9.81 m/s²)*The acceleration level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the limited level cannot be obtained, the calibration system uses the following formula to set the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 0.182 × (freq)². **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:

6/20/2013

PAGE 1 of 2

PCB PIEZOTRONICS
 VIBRATION DIVISION

 3425 Walden Avenue Depew, NY 14043
 TEL: 888-684-0013 FAX: 716-685-3886 www.pcb.com

CAL 28-7454161220-448-V0

ACS-17

~ Calibration Certificate ~

Per ISO 16063-21

Model Number: 356B41/100-6981-40Serial Number: 148592 (z axis)Description: ICP® Triaxial AccelerometerManufacturer: PCBMethod: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz 103.9 mV/g (10.59 mV/m/s²)

Phase Plot

Data Points

Frequency (Hz)	Phase (°)	Frequency (Hz)	Phase (°)
0.5	7.6	30	-0.4
1	3.6	50	-0.4
2	1.6	70	-0.6
5	0.3	REF. FREQ.	-0.6
7	0.1		
10	-0.1		
15	-0.3		
20	-0.3		

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: 6/20/2013

PCB PIEZOTRONICS
VIBRATION DIVISION

3425 Walden Avenue Depew, NY 14043
TEL: 888-684-0013 FAX: 716-685-3886 www.pcb.com

PAGE 2 of 3

AC3-17

CAL 28-1454860229-000-00