

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO À VIBRAÇÃO EM OPERADORES DE TRATORES: UM ESTUDO DE CASO PARA VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO E SISTEMA MÃO-BRAÇO.

por

Tarciso Richter

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, 18 Dezembro de 2012



Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Mecânica

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO À VIBRAÇÃO EM OPERADORES DE TRATOR-  
RES: UM ESTUDO DE CASO PARA VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO E SISTEMA  
MÃO-BRAÇO.

por

Tarciso Richter

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Edson Hikaro Aseka

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Letícia Fleck Fadel Miguel

Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas

Porto Alegre, 18 de Dezembro de 2012.

Aos meus pais Tarso S. Richter e Nelsi M. Richter.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais Tarso e Nelsi por toda educação, apoio e incentivo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Herbert Martins Gomes, por toda ajuda e principalmente por estar sempre disposto à esclarecer dúvidas durante todo desenvolvimento deste trabalho.

Ao senhor Edo Fuckes pela disponibilização do seu veículo agrícola para a realização deste trabalho.

Ao Grupo de Mecânica Aplicada (GMAp) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS, pela disponibilidade dos equipamentos de medição.

**RICHTER, T. Avaliação do Nível de Exposição à Vibração em Operadores de Tratores: Um Estudo de Caso para Vibrações de Corpo Inteiro e Sistema Mão-Braço.** 2012. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

## **RESUMO**

Este trabalho consiste em avaliar os níveis de vibração em um trator agrícola no qual o operador está exposto a uma situação normal de trabalho. Com este intuito, são colocados como situações de trabalho, o deslocamento do veículo em terreno não pavimentado, estrada asfaltada e a operação de plantio. A medição da vibração é feita através da instalação de acelerômetros em partes de contato do motorista com o veículo. Utilizou-se um acelerômetro para medir o nível de vibração no volante (vibração transmitida ao sistema mão-braço) e outro acoplado ao assento do motorista e na base do assento através de um *seat pad* para medir a vibração transmitida ao corpo inteiro. Também, avalia-se a exposição diária à vibração A(8) para situações normais de trabalho e comparando com os limites de exposição diária, definidas pelas normas vigentes. Com base nos resultados obtidos, observa-se que para determinadas condições, as vibrações ultrapassam os limites de exposição permitidos pela norma.

**PALAVRAS-CHAVE:** Instrumentação mecânica, vibração em tratores, vibração no corpo humano.

**RICHTER, T. Evaluation of Vibration Exposure Levels in Tractor's Driver: a Case Study for Whole Body and Hand-Arm System Vibration.** 2012. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

#### **ABSTRACT**

This work aims at assessing the vibration levels in an agricultural tractor whose driver is exposed in a normal working situation. The evaluated work situations are driving on unpaved terrain, driving on a paved road (asphalt) and in planting operation. The vibration measurement is evaluated by installing accelerometers in contact parts of the driver with the vehicle. It is used an accelerometer to measure the vibration levels in the steering wheel (vibration transmitted to the hand-arm system) and other one to measure the whole body vibration that is coupled to the driver's seat and seat back. In addition, it is evaluated the daily exposure to vibration A (8) for normal working situations and it is compared with daily exposure threshold set by actual standards. Based on the obtained results, it was observed that working routine conditions, vibration exceeds the allowed exposure limits defined by standards.

**KEYWORDS:** mechanical instrumentation, vibration in tractors, human body vibration.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sistema de coordenadas basicêntrico adotado para vibração (a) mão-braço e (b) corpo inteiro (Fonte: ISO 5349-1:2001 e ISO 2631-1:1997).....	6
Figura 2.2 – Limites de tempo exposição diária em função da aceleração ponderada pela frequência para corpo inteiro (Fonte: ISO 2631-1:1997). ....	7
Figura 2.3 – Medidor QUEST VI400-Pro e transdutores utilizados nas medições.....	8
Figura 2.4 – Desenho em corte do <i>seat pad</i> , especificação SAE (Fonte: GRIFFIN, 1990).....	8
Figura 2.5 – Veículo agrícola com implemento utilizado nas medições.....	9
Figura 3.1 – Análise do nível de vibração em diferentes locais de medição e pavimentos...	10
Figura 3.2 - Exposição diária à vibração A(8) da base do assento e assento do trator em função das rotinas propostas. ....	12
Figura 3.3 - Exposição diária à vibração A(8) do encosto do assento e do volante do trator em função das rotinas propostas. ....	12
Figura AP2.1 – Figuras dos locais de aplicação dos acelerômetros na base do assento e assento do operador. ....	17
Figura AP2.2 – Figuras dos locais de aplicação dos acelerômetros no encosto e no volante. ....	17
Figura AP2.3 – Pavimento de asfalto e estrada sem pavimentação utilizados nas medições. ....	17
Figura A1.1 - Curvas de ponderação por frequência $W_k$ e $W_d$ para vibração corpo inteiro, incluindo filtro de banda (Fonte: ISO 2631-1:1997).....	18
Figura A1.2 - Curvas de ponderação por frequência $W_h$ para vibração do sistema mão-braço, incluindo filtro de banda (Fonte: ISO 5349-1-1:2001).....	18

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Fatores de multiplicação utilizados nas medições nas curvas de ponderação...	6
Tabela 2.2 – Valores de referência VAE e VLE utilizados nas avaliações.....	7
Tabela 2.3 – Velocidades testadas em cada situação.....	9
Tabela 3.1 – Rotinas propostas para um operador. ....	11
Tabela AP1.1 – Tabela geral dos resultados. ....	16
Tabela AP1.2 – Tabela de exposição diária à vibração A(8) em função das rotinas. ....	16
Tabela AP1.3 – Características do veículo agrícola. ....	16
Tabela AP1.4 – Características do implemento agrícola. ....	16



## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii
SUMÁRIO .....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. DESENVOLVIMENTO .....	1
2.1. Revisão bibliográfica .....	1
2.1.1. Definição de vibração.....	1
2.1.2. Vibrações ocupacionais .....	2
2.1.3. Vibrações em tratores .....	2
2.1.4. Vibrações de corpo inteiro .....	3
2.1.5. Vibrações localizadas .....	4
2.2. Avaliação da exposição humana à vibração .....	4
2.2.1. Metodologia de avaliação .....	4
2.2.2. Metodologia de avaliação da vibração quanto à saúde.....	6
2.3. Materiais e métodos para avaliação vibracional .....	8
2.3.1. Equipamentos de medição .....	8
2.3.2. Características do veículo agrícola e implemento.....	8
2.3.3. Situações avaliadas.....	9
2.3.4. Velocidade de Deslocamento .....	9
2.3.5. Instrumentação do Veículo Agrícola.....	9
3. RESULTADOS E ANÁLISES.....	10
3.1. Avaliação dos níveis de vibração .....	10
3.2. Avaliação da saúde quanto à vibração.....	11
4. CONCLUSÕES .....	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	13
APÊNDICES .....	16
ANEXOS .....	18
ANEXO I.....	18

## 1. INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola possibilitou a expansão da agricultura para grandes áreas. Também o uso do trator reduziu de forma significativa a carga física à qual os trabalhadores encontravam-se submetidos, embora estes continuem expostos a uma determinada carga física e mental, pois os tratores agrícolas não possuem sistema de suspensão, assim os níveis de vibração são elevados em comparação com outros veículos rodoviários.

Os tratores agrícolas são considerados a base para a agricultura moderna, já que a maioria das operações de campo é mecanizada, o que confere uma particular importância ao posto de operação (BERASATEGUI, 2000).

Os tratores agrícolas em circulação no País, na sua maioria, apresentam problemas de conforto e segurança para os operadores, uma vez que estes ficam expostos a níveis de insalubridade acima do permitido pelas normas de segurança do trabalho (Mathias, 1989).

Schollosser & Debiassi (2002) relataram que os conhecimentos em ergonomia resultaram em novos conceitos e que estes fizeram com que os fabricantes passassem a oferecer modelos de tratores com maior conforto para localização de comandos e instrumentos.

Mehta & Tewari (2000) descreveram as várias maneiras de analisar o conforto do assento do trator, tanto de forma objetiva como subjetiva. Para a análise objetiva foram relatados os tipos de sensores que avaliam a pressão de contato do corpo do operador com o assento, exposto a várias frequências de vibração. Assim, concluiu-se que para fazer um estudo completo de conforto deve-se levar em consideração informações específicas de biomecânica, níveis de vibração, distribuição de pressão no assento, postura do operador e material do coxim.

É amplamente reconhecido que os operadores de tratores agrícolas são expostos a altos níveis de vibração de corpo inteiro (VCI) durante as operações agrícolas normais. Em geral produzem vibrações de baixa frequência que são transmitidas para o posto do operador. Essas frequências podem gerar problemas de irritabilidade, neurológicos, vasculares e musculoesqueléticos.

Há vários estudos que visam amortecer e/ou amenizar essas vibrações de baixa frequência. Mesmo assim, há uma necessidade crescente do desenvolvimento de pesquisas que permitam compreender como a vibração é transmitida ao corpo humano e sua influência no conforto, no desempenho, na saúde e segurança dos operadores de tratores agrícolas (ALONÇO 2004).

Nesse contexto, os principais objetivos deste trabalho são:

- Determinar os níveis de vibração no assento, na base do assento, no encosto do assento e na direção de um trator agrícola para três situações normais de trabalho.
- Avaliar a exposição diária à vibração comparando os níveis de vibração obtidos com os limites de exposição determinados pelas principais normas vigentes.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Revisão bibliográfica

#### 2.1.1. Definição de vibração

Vibrações são “oscilações mecânicas regulares ou irregulares de um corpo em torno de um ponto de repouso” (SELL, 2002, p. 237). Para Back (1983), a vibração é “um subproduto indesejado de sistemas mecânicos” e desta forma, a aceleração que é o seu efeito, não pode ser eliminada pela adição de um diferente princípio de trabalho, e igualmente, precisam ser adotadas medidas de contra-atauação ou é preciso introduzir no projeto arranjos dinâmicos, para controlar e isolar o efeito, dentro de limites aceitáveis.

Becker (2006) afirma que a vibração está presente em qualquer sistema mecânico que se mova, diferindo de um sistema para outro apenas em nível e conteúdo espectral. Dentro destes sistemas mecânicos tem-se como referência o corpo humano, no qual sua vibração pode ser definida como toda ou qualquer produzida por um evento externo, atuando no

corpo, como por exemplo, quando o corpo está sobre uma superfície que está vibrando (BALBINOT, 2001).

### 2.1.2. Vibrações ocupacionais

Foram desenvolvidos os primeiros estudos sobre suspensão, objetivando o conforto veicular, sem demonstrar o menor interesse com a resposta humana às vibrações em 1934 (HSE, 2001). As investigações sobre vibrações ocupacionais começaram há mais ou menos sete décadas devido à proliferação de máquinas. As avaliações eram subjetivas, tentando estimar o limiar de percepção humana e a equivalência com as respostas para cada magnitude de vibração, com o objetivo de avaliar até onde os parâmetros poderiam ser desconfortáveis durante pequenos e longos períodos de exposição (HSE, 2001).

Na década de 40, as vibrações passaram a ser identificadas como um problema em potencial à saúde, tanto dos trabalhadores quanto das pessoas que utilizavam ônibus, trens e aviões para deslocamento. No ano de 1949, foram encontrados alguns problemas em motoristas de veículos militares, os quais desenvolveram dores na coluna resultando na aposentadoria por problemas de hérnia de disco (HSE, 2001).

No ano de 1960, Goldman publicou o primeiro estudo quantitativo de vibrações no corpo humano. Desde então, vários trabalhos sobre vibrações ocupacionais foram realizados (BERASATEGUI, 2000).

Os estudos sobre níveis de tolerância para vibrações de pequena duração começaram nos Estados Unidos, em 1959, sendo que foi utilizada uma mesa eletro-hidráulica para a indução de vibrações (HSE, 2001).

Na década de 70, houve um contínuo interesse por respostas subjetivas às vibrações ocupacionais e seus efeitos. Problemas de coluna foram associados a algumas profissões, indicando a necessidade de entender a relação entre a exposição a vibrações ocupacionais e problemas na coluna vertebral. A primeira versão da ISO 2631 foi publicada em 1974 e, posteriormente, em 1978, quando foi reimpressa, com mudanças editoriais, figuras e tabelas (GRIFFIN, 1998).

Durante a década de oitenta, várias pesquisas geraram informações relacionadas a magnitudes de vibrações ocupacionais em tratores agrícolas. Entretanto, a tecnologia empregada era limitada, restringindo a poucos centros de pesquisa a capacidade de realizar ensaios de vibrações ocupacionais (GRIFFIN, 1998).

Em 1982, foi adicionada à ISO 2631, uma emenda em que foi definido o valor ponderado global de vibração através da combinação dos três eixos x, y e z regulamentando os limites de conforto, fadiga e exposição às vibrações ocupacionais (GRIFFIN, 1998).

A partir de 1997, a versão revisada da ISO 2631 não apresenta mais os limites de exposição a vibrações ocupacionais, ficando, desta forma, em função dos cálculos de valor dose de vibração (VDV) e de valor dose de vibração estimado (eVDV) (ANFLOR, 2003).

Atualmente, a Diretiva 2002/44/CE do parlamento Europeu editada em 25 de junho de 2002, especifica valores numéricos e fixos para os limites de vibração tanto para vibração de corpo inteiro quanto para vibração no sistema mão-braço indicando. Estes limites são especificados em “limite de exposição diária normalizada” referenciada a 8 horas de exposição (comumente chamado de ELV – *Exposure Limit Value*, ou Valor Limite de Exposição), assim como “valor de exposição diária normalizada” referenciada a 8 horas de exposição (comumente chamado de EAV – *Exposure Action Value*, ou Valor de Exposição para Ação).

### 2.1.3. Vibrações em tratores

As vibrações mecânicas, que ocorrem em tratores, são descritas como senoidais e aleatórias (PRASAD et al., 1995). “As vibrações senoidais e regulares são possíveis de prever, enquanto as aleatórias e irregulares, não possibilitam essa predição” (SANTOS, 2002, p. 5).

Segundo ARBETS MILJO INSTITUTED et. al. (1990 Apud SANTOS, 2002), a intensidade da vibração nos tratores agrícolas depende da estrutura do solo, do projeto do trator

(suspensão, localizações do assento e cabine, pneus), da velocidade, da técnica de dirigir, entre outros.

Um trabalho realizado por Pessina (1986), citado por Berasategui (2000), teve por objetivo relacionar as vibrações sobre os assentos de tratores agrícolas, durante a fase de transporte, com velocidade de deslocamento e o engate de implementos. O trator deslocou-se sobre uma pista agrícola acidentada e uma normalizada para ensaio de assento, normalmente chamada de pista ISO 5007. As velocidades utilizadas no experimento foram de 12, 15, 17 e 20 km/h. Nesse trabalho conclui-se que:

- O nível de aceleração média eficaz cresceu com o aumento da velocidade de deslocamento;
- As acelerações verticais no assento do operador predominaram sobre as longitudinais e laterais;
- Os implementos de arrasto geraram níveis maiores de aceleração no assento do operador do que os implementos suspensos; e
- A frequência dominante do trator encontrou-se em 2,5 Hz.

Santos Filho (2002) realizou um trabalho com o objetivo de avaliar os níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola utilizando um sistema de aquisição automática de dados executando a operação de gradagem para diferentes velocidades de trabalho. Com base nos resultados adquiridos, concluiu-se que os níveis de aceleração encontrados no assento foram inferiores aos níveis da base do assento para as velocidades de trabalho. A faixa de frequência que apresentou os maiores picos de vibração vertical foi entre 2 e 4 Hz; e os valores de aceleração ponderada encontraram-se bem acima dos limites definidos pela norma ISO 2631 para um período de 8 horas de trabalho. Também houve aumento dos níveis de vibração com o aumento da velocidade do sistema trator-implemento.

Uma redução adicional no nível da vibração pode ser obtida introduzindo suspensão nas rodas traseiras e nas dianteiras, mas este acaba sendo um sistema complicado e caro (PRASAD et al., 1995). Outra maneira de reduzir o nível de vibração é a utilização de cabines com suspensão. Este método é tão caro quanto adicionar suspensão às rodas, mas apresenta várias outras utilidades, tais como, a proteção do operador a variações de temperatura, acondicionamento de equipamentos eletrônicos, isolamento de vapores e gases produzidos pelos tratores, etc (PRASAD et al., 1995; SANTOS, 2002).

#### 2.1.4. Vibrações de corpo inteiro

Segundo Saliba et al. (2002, p. 46), “vibrações de corpo inteiro são vibrações transmitidas ao corpo como um todo, tais como pé, costas e nádegas de um homem sentado ou na área de suporte de um homem inclinado”. A exposição à vibração de corpo inteiro pode causar danos físicos permanentes ou distúrbios no sistema nervoso (GERGES, 2000).

Os efeitos observados em grupos expostos a condições severas de vibração foram: “problemas na região dorsal e lombar, gastrintestinais, sistema reprodutivo, desordens no sistema visual, problemas nos discos intervertebrais, degeneração na coluna vertebral” (SALIBA et al., 2002, p. 46). Para que as vibrações sejam sentidas como incômodas “depende da aceleração, da frequência e da duração da exposição” (SELL, 2002, p. 238).

Os problemas relacionados a vibrações no corpo humano, segundo Sell (2002), são:

- Percepção visual e desempenho psicomotor são afetados;
- Redução da capacidade de visão e percepção de coisas;
- Redução do desempenho visual de operadores de máquinas e de motorista;
- Redução da acuidade visual (imagem não nítida, parece tremer);
- Redução da habilidade manual;
- Redução do tratamento mental de informações e execução de movimentos bem coordenados.

### 2.1.5. Vibrações localizadas

Vibrações localizadas são as que de algum modo podem atingir certas partes de um corpo, principalmente mãos e braços. Os principais efeitos, devido à vibração no sistema mão-braço, podem ser “de ordem vascular, neurológica, osteoarticular e muscular” (SALIBA et. al., 2002, p. 46).

Yadav & Tewari (1998), determinaram o desempenho humano com respeito às vibrações, mostrando que as vibrações, no volante, podem reduzir o conforto do operador.

Segundo Sell (2002, p. 232), a frequência das vibrações é “a grandeza decisiva para as doenças no sistema mão-braço”, podendo causar, desta forma, desgastes em ossos, juntas e tendões de mãos e braços e com isso podem ocorrer artroses no punho, cotovelo e atingir até o ombro.

Segundo Vendrame (2005) a exposição ocupacional continuada às vibrações de mãos e braços produz um conjunto de sintomas conhecidos como a síndrome de Raynauld, na qual se manifesta na forma de vaso espasmos, eventuais ou intermitentes. O fenômeno se constitui na redução do fluxo sanguíneo, caracteristicamente, ataca as mãos e os pés e de forma mais reduzida as orelhas, a língua e o nariz. O calor pode impedir os ataques da síndrome de Raynauld promovidos pelo frio, escondendo a epidemia.

## 2.2. Avaliação da exposição humana à vibração

A vibração consiste em movimento inerente aos corpos dotados de massa e elasticidade. O corpo humano possui uma vibração natural. Se uma frequência externa coincide com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, que implica em amplificação do movimento. A energia vibratória é absorvida pelo corpo, como consequência da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos (Vendrame, 2005).

O corpo humano reage às vibrações de formas diferentes. A sensibilidade às vibrações longitudinais é diferente da sensibilidade transversal. Em cada direção, a sensibilidade também varia com a frequência, desse modo, para determinada frequência, a aceleração tolerável é diferente daquela em outra frequência (Vendrame, 2005).

A exposição à vibração transmitida ao corpo humano, então, podem ser classificadas em dois tipos, de acordo com a região do corpo atingida:

- Vibrações de corpo inteiro: são de baixa frequência e alta amplitude e situam-se na faixa de 1 a 80 Hz, mais especificamente 1 a 20 Hz.
- Vibrações de extremidades (também conhecidas como segmentais, localizadas ou de mãos e braços): são as mais estudadas, situam-se na faixa de 6,3 a 1250 Hz.

Nas situações avaliadas no presente trabalho há uma exposição simultânea aos dois tipos de vibração. Ao corpo inteiro, referente ao movimento global do veículo e ao sistema mão-braço transmitido pelo volante do mesmo.

Pela necessidade de padronizar e avaliar estas vibrações foram criadas diversas normas. As mais importantes normas internacionais são as normas ISO (*International Organization for Standardization*) e as normas europeias. No Brasil a normatização vigente é a indicada pela Norma regulamentadora NR-15 (1983), a qual no item vibrações, remete os limites de exposição às normas ISO respectivas.

### 2.2.1. Metodologia de avaliação

Para avaliação do nível de vibração na qual está exposto o operador em uma situação de trabalho segue-se uma metodologia baseada em normas. São utilizadas duas normas diferentes. A ISO 5349-1:2001 utilizada para avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço, na qual é transmitida pelo volante do veículo agrícola. E para a análise de vibração no assento e no encosto, é utilizada a norma ISO 2631-1:1997 na qual é caracterizada pela avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro.

Segundo Regazzi & Ximenes (2003), o valor eficaz é a medida mais importante de amplitude, pois leva em conta tanto a cronologia da onda como também considera o valor

da amplitude da aceleração que está, diretamente, ligado à energia contida na mesma e, por conseguinte, indica o poder destrutivo da vibração.

Além disso, os efeitos de vibração em relação ao corpo humano são dependentes do conteúdo de frequência de vibração Balbinot (2001). Conforme Gerges (2002), a direção na qual o corpo humano é mais sensível é a vertical. Segundo o autor, na faixa de 4 a 8 Hz, se situam as frequências naturais do corpo humano. Desse modo, para corrigir esse problema foram idealizadas curvas de ponderação ou compensação para diferentes frequências e eixos. Estas curvas são função da frequência e são utilizadas como um fator que atribui pesos diferentes para movimentos com frequências diferentes. Tendo como objetivo qualificar as vibrações nas frequências em que o corpo humano apresenta maior sensibilidade. O resultado desta ponderação é denominado aceleração *rms* compensada (ou ponderada), que é definida pela frequência  $a_w$ , em  $m/s^2$ . A aceleração  $a_w$ , é dada pela Equação (1):

$$a_w = \left[ \sum_i (W_i \cdot a_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

onde  $W_i$  é o fator de ponderação e  $a_i$  é a aceleração *rms* para as dadas frequências.

As curvas de ponderação por frequência  $W_k$  e  $W_d$  são utilizadas em diferentes casos na avaliação da exposição à vibração transmitida ao corpo inteiro e  $W_h$  representa a curva de ponderação por frequência utilizada no sistema mão-braço.

As curvas de ponderação aplicadas neste trabalho podem ser visualizadas no Anexo I a qual foram retiradas das normas ISO. Nas curvas de ponderação, observa-se que as faixas de frequência mais prejudiciais ao corpo humano são aquelas que possuem um maior fator de ponderação Kaderli (2010).

A medição da vibração é realizada seguindo um sistema de coordenadas tri-axial, na qual, para cada um dos eixos x, y e z, um valor de aceleração *rms* ponderada pela frequência, representados por  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  e  $a_{wz}$ , dados em  $m/s^2$ . Além disso, são utilizados fatores de multiplicação  $k_i$ , nos quais tem como objetivo atribuir pesos para os diferentes eixos de coordenadas de acordo com a medição realizada. Para a direção z, utiliza-se um fator de ponderação de 1,0 para os casos de análise de saúde, segundo a norma ISO. Para outras direções, utiliza-se o fator 1,4 por questões de segurança. Com estes valores, através da soma dos quadrados da aceleração de cada componente multiplicados pelo quadrado do fator de multiplicação específico, obtém-se a vibração total  $a_v$ , em  $m/s^2$ , conforme a equação (2):

$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad (2)$$

onde  $k_x$ ,  $k_y$  e  $k_z$  são os fatores de multiplicação aplicados à seus respectivos eixos.

Para casos, na qual há exposição à vibração em dois ou mais períodos para diferentes durações e magnitudes de vibração, calcula-se a vibração total equivalente  $a_{v,e}$  correspondente a duração total de exposição, de acordo com a Equação (3):

$$a_{v,e} = \left[ \frac{\sum a_{vi}^2 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

onde  $a_{vi}$  é a vibração total para a duração da exposição  $T_i$ .

Na Tabela 2.1 pode-se visualizar os fatores de multiplicação empregados nas medições de avaliação da vibração quanto à saúde, tendo como referência as normas ISO 2631-1:1997 e ISO 5349-1:2001:

Tabela 2.1 – Fatores de multiplicação utilizados nas medições nas curvas de ponderação.

		Mão-braço (volante)			Corpo inteiro (assento)			Corpo inteiro (encosto)		
		eixo x	eixo y	eixo z	eixo x	eixo y	eixo z	eixo x	eixo y	eixo z
Curva de ponderação	saúde	$W_h$	$W_h$	$W_h$	$W_d$	$W_d$	$W_k$	$W_d$	$W_d$	$W_k$
Fator multiplicador (k)	saúde	1,0	1,0	1,0	1,4	1,4	1,0	1,4	1,4	1,0

Como observado na Equação (2), as vibrações lineares (vertical, longitudinal e transversal), que são transmitidas para o corpo humano, são representadas através de um eixo de coordenadas ortogonais conforme é apresentado na Figura 2.2b, tanto para medições de vibrações referentes ao corpo inteiro, quanto para o sistema mão-braço. Também, na Figura 2.2, pode-se visualizar o sistema de coordenadas adotado de acordo com as duas normas utilizadas. Ambas as normas utilizam o sistema de coordenadas basicêntrico, no qual a vibração é medida seguindo um sistema de coordenadas originado em um ponto onde a vibração está entrando no corpo.

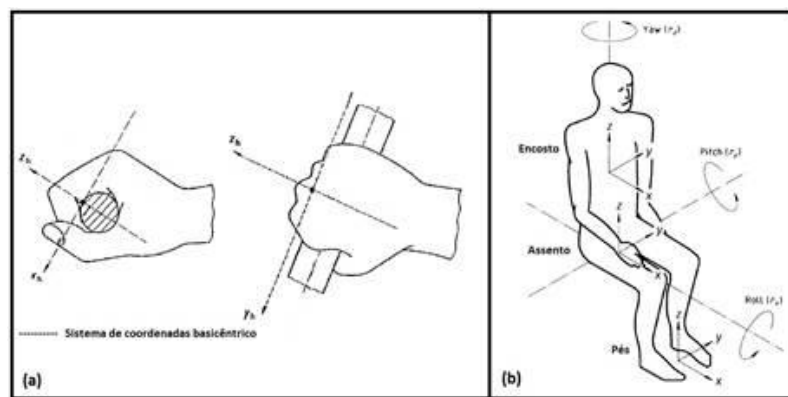


Figura 2.1 - Sistema de coordenadas basicêntrico adotado para vibração (a) mão-braço e (b) corpo inteiro (Fonte: ISO 5349-1:2001 e ISO 2631-1:1997).

### 2.2.2. Metodologia de avaliação da vibração quanto à saúde

No Brasil há uma norma atualmente vigente para fins de avaliação da saúde quanto à vibração, a qual é a Norma Regulamentadora N° 15 (NR 15). Em seu Anexo N° 8 indica que todos seus limites de exposição à vibração são definidos pelas normas ISO 2631 e ISO 5349. Para avaliação, deve-se levar em consideração a duração diária de exposição  $T$ , em horas, sendo o tempo total em que o indivíduo fica exposto à determinada situação durante um dia. A exposição diária à vibração  $A(8)$ , em  $m/s^2$ , é definida como:

$$A(8) = a_{v,e} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (4)$$

onde  $a_{v,e}$  é a vibração total equivalente em  $m/s^2$  dada pela Equação (3), para situações onde haja apenas um período de exposição,  $a_{v,e}$  pode ser substituído por  $a_v$ , definido como a aceleração ponderada combinada nos três eixos dada pela Equação (2), e  $T_0$  é uma duração de referência de 8 horas. Esse tempo de referência  $T_0$  é adotado a fim de facilitar comparações entre exposições diárias à vibração de diferentes durações. A exposição diária à vibração  $A(8)$  pode ser entendida como um valor total da aceleração (vibração) ponderado pela frequência, equivalente a 8 horas de exposição diária.

Nas normas regulamentadoras estão definidos valores limites para exposição diária à vibração ( $A(8)$ ), os quais são utilizados como referência para analisar se os resultados

obtidos estão ou não sendo prejudiciais à saúde. Um destes limites é denominado como VAE (valor de ação de exposição diária – *Exposure Action Value*) no qual, para valores acima deste limite, há a necessidade de medidas que visem a diminuição ou a eliminação dessa exposição, porém sem um grau de preocupação muito elevado. O outro limite é VLE (valor limite de exposição diária – *Exposure Limit Value*), na qual, há a necessidade de medidas imediatas para sua diminuição quando ultrapassados um valor limite definido, pois há potencial risco à saúde. Esta recomendação é baseada principalmente em exposições na faixa de 4 a 8 horas como indicado no sombreamento da Figura 2.2, assim verificam-se os limites de aceleração ponderada em função do tempo de exposição adotados pela norma ISO 2631-1:1997.

A norma possui ainda a opção de utilizar duas equações para obter estes limites, verificados por dois tipos de marcações no gráfico. Para obter os valores de VAE e VLE, visualiza-se no eixo das abscissas a duração de exposição de 8 horas, e assim projetá-los no eixo das ordenadas. Com a projeção destas linhas obtêm-se os valores utilizados.

Para a norma vigente para o sistema mão-braço, não é estabelecido limites de exposição à vibração. Assim, de modo a obter valores comparativos, utilizam-se os valores presentes na norma da União Europeia (Diretiva 2002/44/EC) como referência de valores para o sistema mão-braço.

Sendo assim, os valores de ação de exposição diária (VAE) e limite de exposição diária (VLE) utilizados podem ser visualizados na Tabela 2.2.

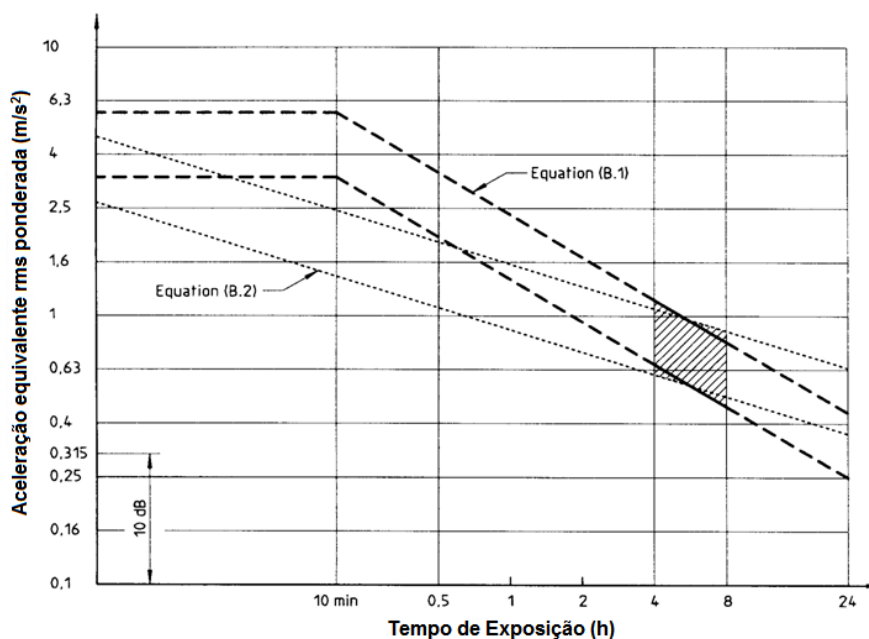


Figura 2.2 – Limites de tempo exposição diária em função da aceleração ponderada pela frequência para corpo inteiro (Fonte: ISO 2631-1:1997).

Tabela 2.2 – Valores de referência VAE e VLE utilizados nas avaliações.

Valores de referência (m/s <sup>2</sup> )		
	VAE	VLE
Mão-braço (Diretiva 2002/44/EC)	2,5	5,0
Corpo inteiro (ISO 2631-1:1997)	0,43	0,88



## 2.3. Materiais e métodos para avaliação vibracional

### 2.3.1. Equipamentos de medição

Para avaliar o nível de vibração no veículo agrícola foi utilizado um analisador de vibração portátil modelo QUEST VI-400Pro, S/N 12430. Esse analisador de vibração capaz de medir até quatro canais de entrada simultaneamente, cada um incluindo 1/1 ou 1/3 de banda de oitava em tempo real. Três canais são tipicamente usados para medições nos três eixos coordenados. No Anexo I e II, pode-se visualizar o certificado de calibração e a declaração de conformidade do aparelho. Na Figura 2.4 segue uma foto do analisador utilizado.



Figura 2.3 – Medidor QUEST VI400-Pro e transdutores utilizados nas medições.

Conectado ao analisador de vibração portátil são usados acelerômetros, os quais são posicionados em locais onde está ocorrendo a vibração. Normalmente se conecta o acelerômetro diretamente no medidor de vibração, na qual indica o nível *rms* da aceleração ponderada. Para vibrações medidas no encosto e no assento, utilizou-se um dispositivo do tipo *seat pad*, em formato de um disco flexível. O modelo utilizado nas medições foi 070-030, S/N 646, com um acelerômetro tri-axial de sensibilidade nominal de 100,3 mV/g em cada um de seus eixos. Na Figura 2.5 pode-se visualizar em corte o transdutor o qual está de acordo com o projeto original da SAE (*Society of Automotive Engineers*).

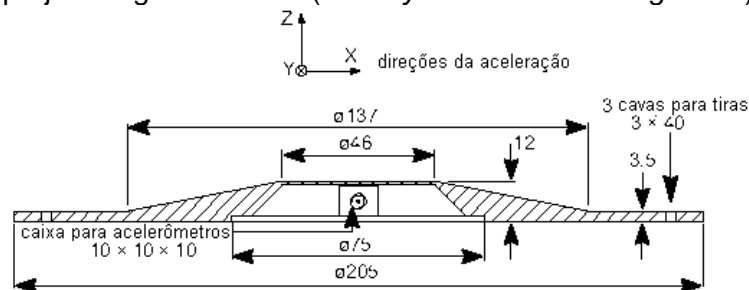


Figura 2.4 – Desenho em corte do *seat pad*, especificação SAE (Fonte: GRIFFIN, 1990).

Para as medições de vibração no volante utiliza-se um acelerômetro piezelétrico tri-axial Dytran, modelo 3023A2, S/N 4147. Possuindo uma sensibilidade nominal de 10 mV/g para cada um dos seus eixos x, y e z. A velocidade de deslocamento do veículo agrícola é medida com um GPS de uso comercial marca ROADSTAR modelo RS-600.

### 2.3.2. Características do veículo agrícola e implemento

As medições foram realizadas em um trator da marca Massey Ferguson modelo 4275 com implemento agrícola também da mesma marca sendo o modelo MF 407 L45, ambos

modelo/ano 2011, Figura 2.6. Na Tabela 2.3 e 2.4, observa-se as principais características do veículo e implemento.

O trator encontrava-se, com o radiador e os reservatórios de fluidos de lubrificação em condições normais. O tanque de combustível encontrava-se pela metade da capacidade. Os pneus utilizados no ensaio eram de tamanho padronizado para o trator, conforme especificação do fabricante com pressão de insuflação nos pneus dianteiros de 16psi e pneus traseiros com 18psi. As medições foram conduzidas por um operador de massa igual a 78 kg. As especificações do veículo agrícola e implemento podem ser visualizadas no Apêndice I.

### 2.3.3. Situações avaliadas

O sistema trator-implemento foi testado sob condições de campo, em uma área de plantio localizada no município de Chapada, RS, na qual foi avaliado a situação de plantio de soja, em uma área sem obstáculos. Para a avaliação de vibração em pavimentação de asfalto e estrada sem pavimentação, usualmente chamada de “estrada de chão”, usou-se o trator sem o implemento agrícola. No Apêndice II está a Figura AP2.3 com tipos de pavimentos onde os testes foram realizados.



Figura 2.5 – Veículo agrícola com implemento utilizado nas medições.

### 2.3.4. Velocidade de Deslocamento

As velocidades utilizadas nos testes foram estipuladas conforme o pavimento em que o trator era avaliado. Para a operação de plantio foi utilizada a velocidade de 7 km/h, a qual é a velocidade exigida para o plantio direto da semente de soja. As demais velocidades utilizadas foram faixas de velocidades comumente desenvolvidas nas situações testadas. A velocidade real foi determinada através de um GPS comercial e a rotação do motor indicada pelo próprio painel do trator. A Tabela 2.5 indica a situação utilizada em cada teste. Em cada situação limita-se a utilizar apenas uma velocidade determinada em cada teste devido ao grande número de medições realizadas em diferentes condições e locais.

Tabela 2.3 – Velocidades testadas em cada situação.

Pavimento	Velocidade	Rotação do motor	Marcha
Estrada asfaltada	14 km/h	1600 rpm	5ª marcha
Estrada sem pavimento	12 km/h	1500 rpm	5ª marcha
Operação de plantação	7 km/h	2200 rpm	3ª marcha

### 2.3.5. Instrumentação do Veículo Agrícola

Para as medições de vibração foram utilizados dois tipos de acelerômetros. Um acelerômetro fixado no volante para determinar o nível de vibração no sistema mão-braço, seguindo a norma ISO 5349-1:2001. E outro acelerômetro do tipo *seat pad* para as

medições no assento, na base do assento e no encosto na qual determinam o nível de vibração de corpo inteiro. Cada medição foi realizada separada para cada ponto de medição nos testes e com duração de aproximadamente 60 segundos em cada condição e local avaliado, pois se verificou como suficiente e representativo da vibração na condição avaliada.

Os acelerômetros foram posicionados em concordância com a norma utilizada, tendo sido alinhados com relação aos eixos determinados, sendo possível, por norma, uma tolerância angular de até 15°. No Apêndice 2 são apresentados os locais nos quais foram usados os acelerômetros.

### 3. RESULTADOS E ANÁLISES

#### 3.1. Avaliação dos níveis de vibração

A Figura 3.1 apresenta os valores dos níveis de vibração na base do assento, assento, encosto e volante, respectivamente, obtidos experimentalmente. Cada gráfico apresenta as medições referentes a cada situação na qual foi avaliado o trator em operação. Pela Equação (2) utilizam-se as acelerações medidas em cada eixo do sistema de coordenadas. E utilizando as corretas curvas de ponderação e fatores de multiplicação apresentados na Tabela 2.1, calcula-se a aceleração *rms* ponderada pela frequência nos três eixos  $a_v$ , dado em  $m/s^2$ .

De acordo com os gráficos, pode-se visualizar a magnitude da aceleração em função do local de medição e operação efetuada. A Figura 3.1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios nas medições. Foram obtidos 3 gráficos que estão relacionados aos ensaios realizados respectivamente no asfalto, estrada não pavimentada e operação de plantio com um tempo de aproximadamente 60 segundos para cada medição em cada ponto avaliado.

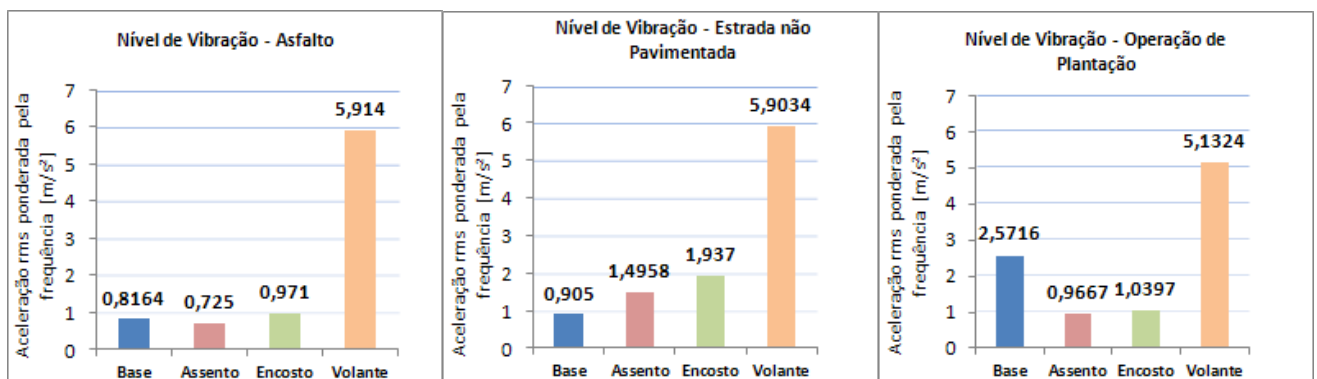


Figura 3.1 – Análise do nível de vibração em diferentes locais de medição e pavimentos.

Cada gráfico é separado por tipo de operação avaliada, possuindo no eixo das abscissas o local na qual foi aplicado o acelerômetro, e no eixo das ordenadas a aceleração ponderada global, dada em  $m/s^2$ . Na Tabela 2.5 estão definidos os parâmetros de cada situação na qual o ensaio ocorreu.

Avaliando isoladamente as medições em cada situação na qual o trator foi avaliado, verificou-se que independente do tipo de teste, a magnitude de vibração na direção foi superior aos demais, superando em todos os ensaios  $5 m/s^2$ . Cabe salientar, que essa vibração pode estar relacionada, principalmente, à vibração transmitida pelo motor à direção, pois mesmo no asfalto na qual é uma situação menos acidentada o nível de aceleração é o de maior intensidade. Presume-se que o nível de vibração reduzido na direção na condição de estrada não pavimentada e na situação de plantio se deve ao fato de que parte da vibração do trator é absorvida pelo chão menos rígido do que na situação de pavimento mais rígido, onde ela é refletida.

Pode-se observar, nos ensaios, que o nível de vibração no assento foi reduzido em relação à base do assento, na qual é resultado do sistema de suspensão composto por

espuma e molas presentes no assento. Entretanto, na estrada não pavimentada não foi verificado esse resultado, pois os pontos de medição foram medidos separados, assim acredita-se que no momento da avaliação da vibração no assento o pavimento possivelmente estaria mais acidentado que na avaliação do assento do trator.

Comparando-se os resultados experimentais, (Figura 3.1) observa-se a diferença de magnitude de vibração dos pontos de medição relacionados aos diferentes tipos de pavimentos. Os altos valores de aceleração na operação de plantação são devido à movimentação do trator sobre uma superfície arada e ao implemento tracionado, na qual obteve-se um valor de aceleração ponderada global de  $2,571 \text{ m/s}^2$  que foi um valor muito próximo da avaliação dos níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola realizado por Santos Filho et al., (2002) na qual encontrou para terceira marcha uma aceleração ponderada global de  $2,638 \text{ m/s}^2$  também com implemento tracionado e com velocidade de deslocamento de aproximadamente  $7 \text{ km/h}$ . Os níveis de aceleração na estrada não pavimentada também foram elevados devidos à estrada ser mais compactada, com mais irregularidades, com buracos e pedras comprovando que os pneus são incapazes de amortecer as vibrações produzidas pelas irregularidades do terreno. Por fim, o nível de vibração no asfalto foi o de menor magnitude, principalmente pelo pavimento ser menos acidentada e com maior regularidade.

### 3.2. Avaliação da saúde quanto à vibração

Avaliando os dados referentes à exposição na qual um operador encontra-se, e comparando-os com os valores de aceleração determinados pela norma ISO-2631-1:1997 visualizados na Tabela 2.2, as situações apresentaram dados que, de acordo com a norma, podem ser interpretados como valores de aceleração prejudiciais à saúde do operador. Desse modo, deve-se analisar a exposição humana à vibração com foco na saúde, a fim de determinar, se os valores obtidos de aceleração podem ser prejudiciais à saúde nessa situação de trabalho em campo.

Através da Tabela 2.1, utilizam-se as curvas de ponderação e fatores multiplicadores referentes à saúde, de acordo com a norma ISO. Através da Equação (2) calcula-se novamente a aceleração *rms* ponderada pela frequência ou vibração total, e em seguida calcula-se a vibração total equivalente, dada pela Equação (3). Simulou-se uma jornada de trabalho de 4, 6 e 8 horas, utilizando as diferentes combinações de situações e pavimentos contidas no trabalho. Na Tabela 3.1 pode-se verificar as três rotinas de trabalho propostas a um operador.

Tabela 3.1 – Rotinas propostas para um operador.

	Estrada s/ pavimento (12 km/h)	Estrada asfaltada (14 km/h)	Plantando (7 km/h)	Horas diárias
Rotina A	0,5 horas	0,5 horas	3 horas	4 horas
Rotina B	0,5 horas	0,5 horas	5 horas	6 horas
Rotina C	0,5 horas	0,5 horas	7 horas	8 horas

A Tabela 3.1 apresenta rotinas de trabalho na qual diferem na exposição sobre a situação de plantio e horas diárias de trabalho. A Rotina A apresenta uma situação mais leve de trabalho, sendo 3 horas de trabalho com o trator em operação de plantio, e mais uma hora de deslocamento, (0,5 horas em asfalto e 0,5 horas em estrada sem pavimentação). As Rotinas B e C apresentam características semelhantes à Rotina A, porém com aumento na exposição na operação de plantio. Desse modo, pode-se comparar a influência na situação na qual o trator realmente é mais utilizado em relação à exposição diária à vibração. Em todas as rotinas não foi simulada a situação representando o motor ligado em marcha lenta, pois não é uma situação que ocorre normalmente.

Obtendo este valor da vibração total equivalente através da Equação (3), calcula-se conforme a Equação (4), a exposição diária à vibração A(8). Sendo T, o tempo de exposição diária à vibração.

Nas Figuras 3.2 e 3.3 são apresentados 4 gráficos, um para cada local de medição (base do assento, assento, encosto e volante), comparando a exposição diária à vibração A(8), referente a cada rotina proposta. As linhas horizontais dos gráficos representam o valor de ação da exposição (VAE) e o valor limite de exposição (VLE) em acordo com os valores apresentados na Tabela 2.2. No eixo horizontal, cada barra, representa uma rotina, e no eixo vertical, os valores de exposição diária à vibração A(8) correspondentes.

A partir dos gráficos, é possível visualizar que em todas as medições realizadas, para todas as rotinas propostas, os limites de ação definidos pela norma ISO 2631 foram excedidos e para as rotinas de maior tempo excederam o limite de exposição diária. Desse modo, para a segurança do operador, há a necessidade de medidas que visem à diminuição ou eliminação desta exposição. Para as medições de vibração na base do assento, todas as rotinas propostas apresentaram valores acima do valor limite de exposição (VLE), ou seja, o operador está submetido a índices perigosos de vibração, no qual é prejudicial à saúde. Nas medições realizadas no assento, os níveis de vibração também foram elevados, sendo que na Rotina C, a exposição também ficou acima do limite de exposição. Para medições no encosto, nas Rotinas B e C, os valores de vibração ficaram acima do limite de exposição diária (VLE). Situação semelhante ocorreu para medições no volante na qual a Rotina A e B ficaram com valores acima dos valores de ação e a Rotina C obteve valor superior ao limite de exposição.

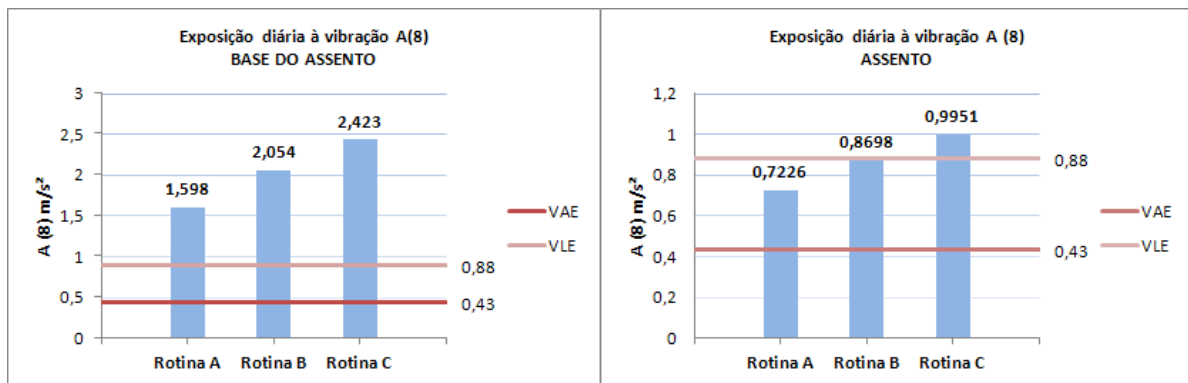


Figura 3.2 - Exposição diária à vibração A(8) da base do assento e assento do trator em função das rotinas propostas.

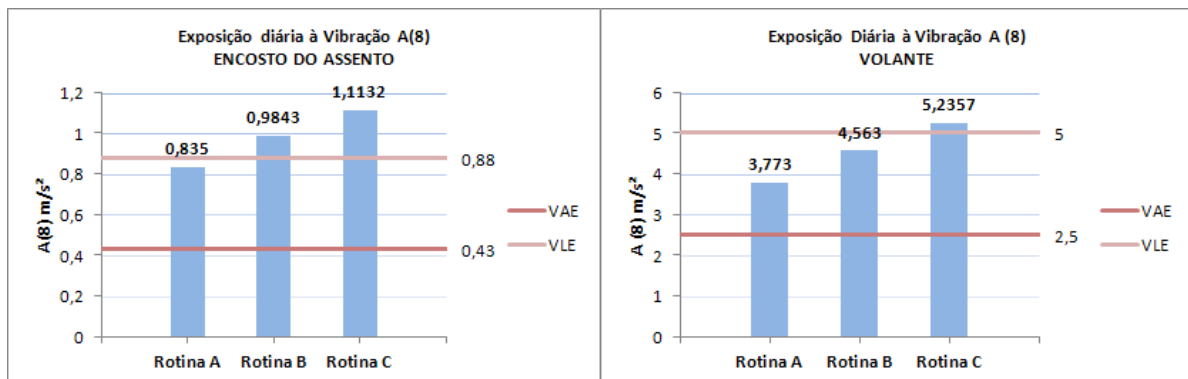


Figura 3.3 - Exposição diária à vibração A(8) do encosto do assento e do volante do trator em função das rotinas propostas.

Considerando-se uma exposição de 8 horas por dia (Rotina C), as medições ultrapassaram os níveis de limite de exposição diária estabelecidos pela norma para todos os pontos de medições, desse modo, expondo o operador a índices potencialmente danosos a sua saúde. Com esses valores de exposição diária, necessita-se tomar alguma medida imediata para atenuação do nível de vibração, pois nessas condições em pouco tempo

ocorrerá problemas de saúde ao operador, principalmente dores lombares e problemas na coluna vertebral.

Observa-se que os valores de aceleração ponderada global calculados encontram-se bem acima dos limites estabelecidos pela norma ISO 2631 (1997), mesmo para uma exposição durante 4 horas de trabalho. A medição mais crítica foi na base do acento, na qual se obteve valores de aceleração ponderada global em operação elevados, principalmente na operação de plantio, que é a situação mais utilizada, desse modo expondo o operador a uma alta exposição diária à vibração A(8).

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que os níveis de aceleração encontrados foram elevados em todas as avaliações, na qual o menor valor de aceleração ponderada global foi de  $0,725 \text{ m/s}^2$  no assento do trator agrícola em deslocamento no asfalto. E o maior valor foi de  $5,914 \text{ m/s}^2$  no volante, também no mesmo pavimento.

Assim como em estudos similares sobre a vibração em tratores, em diferentes terrenos e condições operacionais, os níveis de aceleração encontrados no assento foram inferiores aos encontrados na base do assento para duas das três condições testadas, o que mostra a eficiência do amortecimento do assento.

Os valores de aceleração ponderada global no volante encontraram-se todos acima de  $5 \text{ m/s}^2$  para todas as avaliações, observando-se que a vibração na direção, além do pavimento, pode ser gerada pela vibração do motor. Pois mesmo no asfalto, que foi o pavimento mais regular, a vibração atingiu, inclusive, o maior nível presumidamente por um efeito de reflexão da vibração gerada pelo trator com o solo mais rígido, o que instiga um estudo mais aprofundado sobre essa situação.

Para avaliação da saúde, todas as rotinas de trabalho simuladas encontraram-se com valores acima dos níveis de ação de exposições diárias à vibração A(8), alguns valores, inclusive, ultrapassando o valor limite de exposição diária (VLE). As vibrações ocorridas na base do assento foram as mais preocupantes, pois se encontraram valores bem acima dos limites determinados pelas normas, mesmo na rotina de menor período de trabalho. Nos demais locais de medição, os níveis de aceleração ultrapassaram os valores de ação de exposição diária (VAE) para todas as rotinas simuladas. E nas rotinas que exigiam 7 horas de trabalho em campo, todas as medições ultrapassaram o limite de exposição diário à vibração. Assim, necessita-se de medidas que visem à diminuição ou à eliminação desta exposição. Desse modo, conclui-se que uma cabine com sistema de suspensão no trator agrícola possa reduzir o nível de vibração que um operador é exposto durante uma rotina de trabalho. Além disso, aplicar um sistema de suspensão entre a base do assento e o assento também favorecerá a redução da vibração transmitida ao operador. E a própria melhoria do sistema de suspensão do assento atenuará de forma considerável os níveis de aceleração.

Outra forma de reduzir essa exposição à vibração é dividir o trabalho com mais operadores, assim dilui-se a exposição diária à vibração de modo que possa ser evitado que os níveis de aceleração ultrapassem os valores estipulados pela norma para um determinado operador.

#### 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.

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.



BALBINOT, A. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde.** Tese para obtenção de título de doutor em engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

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

BECKER, T. **Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano, medições em um grupo de motoristas e ajuste de um modelo biodinâmico.** Tese para obtenção de título de doutor em engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 2006.

BERASATEGUI, M. B. R. **Modelización y simulación del comportamiento de un sistema mecânico com suspensión aplicado a los tractores agrícolas.** 2000. 264f. Tese (Doutorado em Agronomía) – Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2000.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 15 – Atividades e Operações Insalubres.** Brasília, 1983.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações.** Porto Alegre: Ed. Artmed, 2003.

DIRECTIVE 2002/44/EC. **On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration).** The European Parliament and the Council of the European Union. Official Journal of the European Communities, L177/13-19, 2002.

EUROPEAN COMISSION. **Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration).** Official Journal of the European Communities, L.177/13. 2002.

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

GRIFFIN, M.J. **Handbook of Human Vibration.** London: Elsevier Academic Press, 1998. 988p.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. **Whole-body vibration and shock: a literature review.** Stoneleigh, 2001. 99 p. Disponível em: <<http://www.hse.gov.uk/agriculture/index.htm>>. Acesso em: 10 out. 2004.

ISO 2631-1:1997. **Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements.** International Organization for Standardization, 2009.

ISO 5349-1:2001. **Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements.** International Organization for Standardization, 2001.

ISO 5349-2:2001. **Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace.** International Organization for Standardization, 2001.

KADERLI, F. **Análise de Conforto quanto à vibração em Veículos de Passeio.** 2012. 22f. Monografia (Trabalho de Conclusão do curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MÁRQUEZ, L. **Solo tractor' 90: Ergonomia y seguridad en los tractores.** Madri: Labore, 1990. 231 p.

Massey Ferguson - Plantadora MF 407. <[http://br.viarural.com/agricultura/tratores/massey-ferguson/plantadoras-e\\_ sementeiras/massey-ferguson-plantadora-serie400-especificacoes-tecnicas.htm](http://br.viarural.com/agricultura/tratores/massey-ferguson/plantadoras-e_ sementeiras/massey-ferguson-plantadora-serie400-especificacoes-tecnicas.htm)>, Acessado em outubro de 2012.

- Massey Ferguson - Trator MF 4275 <<http://br.viarural.com/agricultura/tratores/massey-ferguson/tratores/massey-ferguson-trator-mf4275.htm>>, Acessado em outubro de 2012.
- MATHIAS, M. H. **Análise de vibrações em tratores**. 1989. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guratingueta, 1989.
- MEHTA, C. R.; TEWARI, V.K. Seating discomfort for tractor operators-a critical review. **International Journal of Industrial Ergonomics**. v. 25, p. 661-674, 2000.
- NR15. Norma Regulamentadora No.15. **Atividades e operações insalubres - Anexo N°8 Vibrações**. [http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf) acessado em 08/10/2010.
- PRASAD, N.; TEWARI, V. K.; YADAV, R. Tractor ride vibration: a review. **Journal of Terramechanics**, Silsoe, p. 205-219. 1995.
- QUEST-TECHNOLOGY. **Real-time vibration Analyzers, VI-400PRO, Preliminary owner's manual**. 2005.
- REGAZZI, R. D.; XIMENES, M. G. **Importância da avaliação da vibração no corpo humano**: INMETRO. Rio de Janeiro: 2003. 20 p.
- 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.
- SANTOS FILHO, 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. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- SAVIONEK, D. **Medição e Avaliação da Exposição Humana à Vibração Transmitida ao Sistema Mão-braço Durante a Atividade Ciclística**. Monografia para obtenção do título de engenheiro mecânico. Porto Alegre: UFRGS, 2010.
- SELL, I. **Projeto do trabalho humano**: Melhorando as condições de trabalho. Florianópolis: UFSC, 2002. 470 p.
- VENDRAME, A. C. 2005. **Vibrações Ocupacionais**, Consultores e Associados, 13p. <[http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes\\_vendrame.pdf](http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes_vendrame.pdf)>, Acessado em janeiro de 2012.
- YADAV, R.; TEWARI, V. K. Tractor operator seat workplace design: a review. **Journal of Terramechanics**, Silsoe, p. 41-53. 1998.



## APÊNDICES

### APÊNDICE I

Tabela AP1.1 – Tabela geral dos resultados.

Medição	Arquivo	Pavimento	Local de medição	Tempo de medição	Vel. [km/h]	Motor [RPM]	Marcha	awx [m/s <sup>2</sup> ]	awy [m/s <sup>2</sup> ]	awz [m/s <sup>2</sup> ]	a rms p/ saúde [m/s <sup>2</sup> ]
1	@piso	Plantio	Base assento	93s	7 km/h	2200 rpm	3 º	0,6353	0,595	2,2646	2,571647351
2	@asse	Plantio	Assento	69s	7 km/h	2200 rpm	3 º	0,4416	0,3365	0,5748	0,966721753
3	@enco	Plantio	Encosto do assento	62s	7 km/h	2200 rpm	3 º	0,473	0,2931	0,6855	1,037688781
4	@vola	Plantio	Volante	60s	7 km/h	2200 rpm	3 º	3,6983	1,9476	2,9785	5,132448821
5	@piso	chão	Base assento	38s	12 km/h	1500 rpm	5 º	0,1677	0,2173	0,8194	0,905034705
6	@asse	chão	Assento	37s	12 km/h	1500 rpm	5 º	0,4966	0,4715	1,1482	1,495812123
7	@enco	chão	Encosto do assento	40s	12 km/h	1500 rpm	5 º	0,6784	0,6776	1,3964	1,936980864
8	@vola	chão	Volante	36s	12 km/h	1500 rpm	5 º	2,2055	3,4874	4,2218	5,903370584
9	@piso	Asfalto	Base assento	44s	14 km/h	1600 rpm	5 º	0,1382	0,1481	0,7656	0,816436002
10	@asse	Asfalto	Assento	47s	14 km/h	1600 rpm	5 º	0,1984	0,1529	0,6346	0,725044455
11	@enco	Asfalto	Encosto do assento	58s	14 km/h	1600 rpm	5 º	0,2579	0,2667	0,8204	0,970995936
12	@vola	Asfalto	Volante	65s	14 km/h	1600 rpm	5 º	3,0584	3,9811	3,1261	5,91400617

Tabela AP1.2 – Tabela de exposição diária à vibração A(8) em função das rotinas.

Rotina A			Rotina B			Rotina C		
	Ae,v [m/s <sup>2</sup> ]	A(8) [m/s <sup>2</sup> ]		Ae,v [m/s <sup>2</sup> ]	A(8) [m/s <sup>2</sup> ]		Ae,v [m/s <sup>2</sup> ]	A(8) [m/s <sup>2</sup> ]
Base do assento	2,26	1,598	Base do assento	2,372	2,054	Base do assento	2,423	2,423
Assento	1,022	0,722	Assento	1,004	0,869	Assento	0,995	0,995
Encosto	1,182	0,835	Encosto	1,136	0,983	Encosto	1,113	1,113
Volante	5,336	3,773	Volante	5,269	4,563	Volante	5,235	5,235

Tabela AP1.3 – Características do veículo agrícola.

<b>Desempenho (Performance)</b>	
Potência do motor, na rotação nominal (cv)	75
Potencia máxima na Tomada de Potência (cv)	67
Torque máximo no motor @ 1400 rpm (mkgf)	27.2
Rotação nominal do motor (rpm)	2200
<b>Motor</b>	
Modelo/Marca	A4-4.1 / MWM
Aspiração	Natural
Número de cilindros	4
Cilindrada - cm <sup>3</sup>	4100
Rotação do motor (rpm)	2200
Rodado traseiro	18.4-30R1
<b>Pesos e dimensões</b>	
Tração	4x4
Peso máximo com lastro - kg	4567
Comprimento total - mm	4170
Altura máxima - mm	2600
Distância entre eixos - mm	2370
Vão livre médio - mm	380

Tabela AP1.4 – Características do implemento agrícola.

<b>Modelo</b>	
Nº de Linhas	6
Espaçamento entre linhas (cm)	45/50
Largura min útil de Trabalho (mm)	2250
Largura máx. útil de Trabalho (mm)	2500
Massa aproximada pantográfica	2335
Massa aproximada pivotada	2180

## APÊNDICE II



Figura AP2.1 – Figuras dos locais de aplicação dos acelerômetros na base do assento e assento do operador.



Figura AP2.2 – Figuras dos locais de aplicação dos acelerômetros no encosto e no volante.



Figura AP2.3 – Pavimento de asfalto e estrada sem pavimentação utilizados nas medições.

## ANEXOS

## ANEXO I

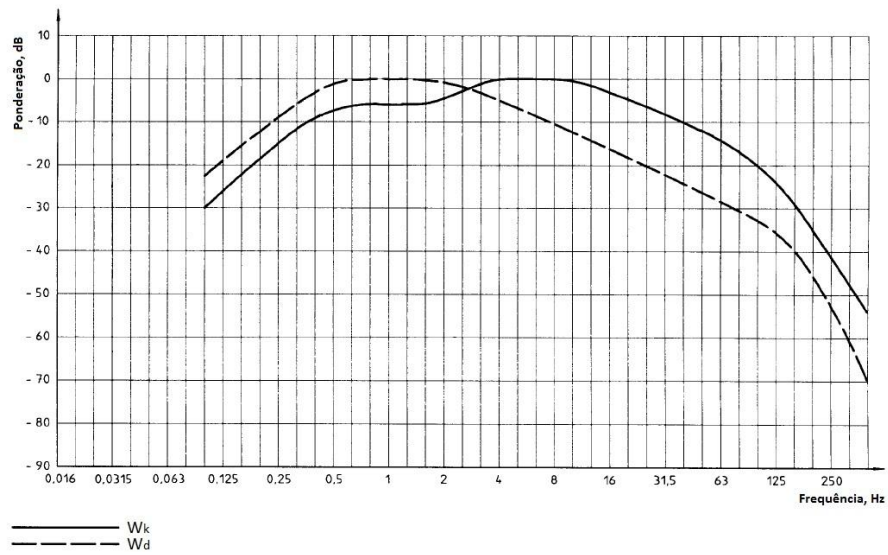


Figura A1.1 - Curvas de ponderação por frequência  $W_k$  e  $W_d$  para vibração corpo inteiro, incluindo filtro de banda (Fonte: ISO 2631-1:1997).

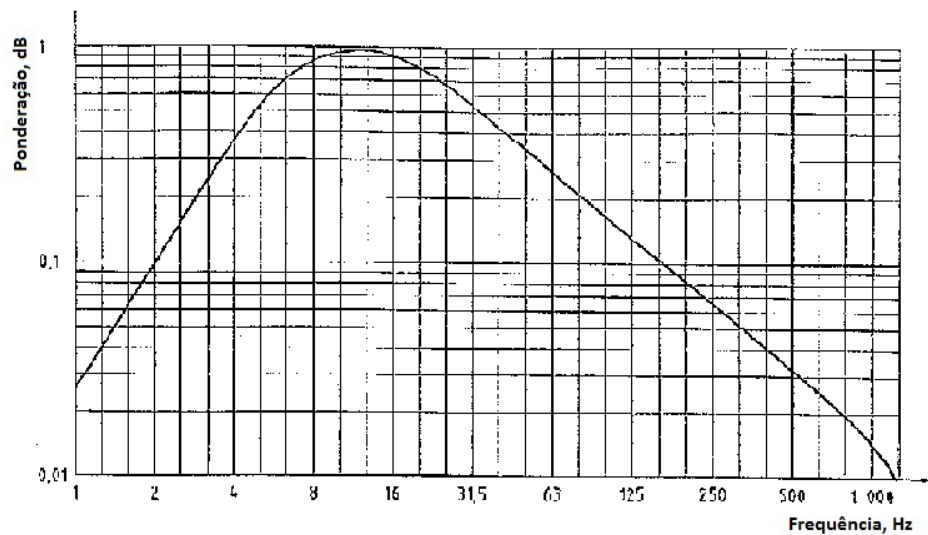


Figura A1.2 - Curvas de ponderação por frequência  $W_h$  para vibração do sistema mão-braço, incluindo filtro de banda (Fonte: ISO 5349-1-1:2001).



## ANEXO II – Certificado de calibração dos acelerômetros



## Certificate of Calibration

Certificate Number: 21185012430

Model: VI-400

Date Issued: 10-January-2008

S/N: 12430

**Quest Technologies, Inc. certifies that the above listed product meets or exceeds the requirements of the following standard(s):**

- ISO 8041 - Human response to vibration
- ISO 2631-1 - Whole-Body Vibration
- ISO 5349 - Hand-Transmitted Vibration
- ISO 10816 - Standard for Vibration Monitoring
- IEC 61672-1 - Electroacoustics - Sound level meters

**Test Procedure:** S072-020

**Subassemblies:**

Dytran 3023A2 S/N: 4147

Dytran 5313M4 (VI-400) S/N: 647

**Test Conditions:**

Temperature: 18-25°C

Humidity: 20-80% R.H.

Barometric Pressure: 950-1050 mBar

**Reference Standard(s):**

Device	Cal Due Date
Kistler 8076K	18-December-2008
Fluke 45	19-March-2009

**Uncertainty - Estimated at 95% Confidence Level (k=2)**

+/- 1.8% Vibration

+/- 1.4% AC Voltage, +/-0.1% DC Voltage

**Calibrated By:**

  
Linda Osterdorf Assembler

In order to maintain best instrument performance over time and in the event of inspection, audit or litigation, we recommend the instrument be recalibrated annually. Any number of factors may cause the calibration item to drift out of calibration before the recommended interval has expired.

All equipment used in this test is traceable to NIST, and applies only to the unit identified above.  
This report must not be reproduced except in its entirety without the written approval of Quest Technologies, Inc.

058-387 Rev E

**QUEST**

TECHNOLOGIES, INC.

1060 CORPORATE CENTER DRIVE • OCONOMOWOC, WISCONSIN 53066-4828  
800-245-0779 • 262-567-9157 • FAX 262-567-4047 • INTERNET ADDRESS: www.quest-technologies.com

An ISO 9001 Registered Company

Page 1 of 1



## ANEXO III – Declaração de conformidade do medidor VI-400Pro



## Declaration of Conformity

Certificate Number: 21185012430

### The Following Directives Are Covered By This Declaration:

89/336/EEC Electromagnetic Compatibility Directive, As Ammended  
73/23/EEC Low Voltage Equipment Directive, Ammended by 93/68/EEC

### The Following Product Is Covered By This Declaration:

Model: VI-400

S/N: 12430

### The Basis On Which Conformity Is Being Declared:

The manufacturer hereby declares under his sole responsibility that the product identified above complies with the protection requirements of the EMC directive and with the principal elements of the safety objectives of the Low Voltage Equipment directive, and that the following standards have been applied:

EN50081-1 Electromagnetic Compatibility

EN50082-1 Electromagnetic Compatibility

Signed: \_\_\_\_\_

Mike Wurm - Vice President of Engineering

Date: 10-January-2008

### Attention!

The attention of the specifier, purchaser, installer or user is drawn to special measures and limitations to use which must be observed when these products are taken into service to maintain compliance with the above directives.

Details of these special measures and limitations to use are available on request, and are also contained in the product manuals.

098-605 Rev A

**QUEST**  
TECHNOLOGIES, INC.

1060 CORPORATE CENTER DRIVE • OCONOMOWOC, WISCONSIN 53066-4828  
800-245-0779 • 262-567-9157 • FAX 262-567-4047 • INTERNET ADDRESS: [www.questtechnologies.com](http://www.questtechnologies.com)

An ISO 9001 Registered Company

Page 1 of 1