

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO  
TRABALHO

RODRIGO FARIAS ANDRIOLO

**CRIAÇÃO E ANÁLISE DE UM PROTÓTIPO DE EQUIPAMENTO PARA  
MEDIÇÃO DE VIBRAÇÃO OCUPACIONAL**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA - PR

2013

RODRIGO FARIAS ANDRIOLO

**CRIAÇÃO E ANÁLISE DE UM PROTÓTIPO DE EQUIPAMENTO PARA  
MEDIÇÃO DE VIBRAÇÃO OCUPACIONAL**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho”.

Orientador: Prof. M.Eng. Massayuki Mário Hara

CURITIBA - PR

2013

**RODRIGO FARIAS ANDRIOLO**

**CRIAÇÃO E ANÁLISE DE UM PROTÓTIPO DE EQUIPAMENTO  
PARA MEDIÇÃO DE VIBRAÇÃO OCUPACIONAL**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Banca:

---

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

---

Prof. Dr. Adalberto Matoski  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

---

Prof. M.Eng. Massayuki Mário Hara (Orientador)  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba  
2013

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, irmã, amigos e esposa.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família.

Aos amigos Victor, Diogo, Julio e Bruna.

Ao professor Rodrigo Eduardo Catai.

ANDRIOLO, R. F. Criação e análise de um protótipo de equipamento para medição de vibração ocupacional. 2013. 54f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta a montagem de um equipamento de medição de vibração de baixo custo, cuja finalidade é medir as vibrações as quais os trabalhadores estão expostos. Cita os principais efeitos da vibração sobre o corpo humano. Apresenta também os limites de vibração ocupacional para vibração de mãos e braços, corpo inteiro e corpo inteiro de baixa frequência sugeridos pelas principais normas nacionais e internacionais. Lista os materiais utilizados na montagem do equipamento, a forma de comunicação, as normas, bem como o custo total do projeto. Traz como resultado um protótipo para medição de vibração ocupacional e seus resultados confrontados com os de um equipamento comercial.

**Palavras-chave:** Vibração ocupacional. Segurança. Acelerômetro.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Direção dos eixos ortogonais para medição da vibração na posição em pé.....	16
Figura 2 – Direção dos eixos ortogonais para medição de vibração na posição sentado .....	16
Figura 3 – Direção das coordenadas adotadas para medição de vibração de mãos.....	19
Figura 4 – Placa com acelerômetro MMA7361 .....	26
Figura 5 – <i>Arduino Uno R2</i> – Vista topo.....	27
Figura 6 – <i>Arduino Uno R2</i> – Vista verso .....	27
Figura 7 – Processo de obtenção, tratamento e registro dos dados .....	27
Figura 8 – Placa de registro dos dados .....	28
Figura 9 – <i>Real Time Clock</i> .....	29
Figura 10 – Editor de texto para edição do código.....	30
Figura 11 – Vista isométrica da proteção do módulo de aquisição. Unidade de medida em centímetros .....	31
Figura 12 – Vista isométrica da proteção do módulo de aquisição. Unidade de medida em centímetros .....	31
Figura 13 – Vista explodida da proteção do módulo de aquisição.....	32
Figura 14 – <i>Case</i> onde estão alojados os módulos de processamento e registro.....	33
Figura 15 – Módulos interconectados .....	34
Figura 16 - Aceleração no eixo X obtida através do equipamento vib008.....	36
Figura 17 - Aceleração no eixo X obtida através do protótipo.....	36
Figura 18 - Valores <i>rms</i> de aceleração no eixo X.....	36
Figura 19 – Aceleração no eixo Y obtida através do equipamento vib008.....	37
Figura 20 – Aceleração no eixo Y obtida através do protótipo .....	37
Figura 21 – Valores <i>rms</i> de aceleração no eixo Y.....	37
Figura 22 – Aceleração no eixo Z obtida através do equipamento vib008 .....	38
Figura 23 – Aceleração no eixo Z obtida através do protótipo .....	38
Figura 24 – Valores <i>rms</i> de aceleração no eixo Z .....	38
Figura 25 – Aceleração no eixo X obtida através do equipamento vib008, com o trator parado e funcionando a 850 rpm .....	40
Figura 26 – Aceleração no eixo X obtida através do protótipo, com o trator parado e funcionando a 850 rpm .....	40
Figura 27 – Valores <i>rms</i> de aceleração no eixo X obtidas com o trator parado e funcionando a 850 rpm.....	40
Figura 28 – Aceleração no eixo Y obtida através do equipamento vib008, com o trator parado e funcionando a 850 rpm .....	41
Figura 29 – Aceleração no eixo Y obtida através do protótipo, com o trator parado e funcionando a 850 rpm .....	41
Figura 30 – Valores <i>rms</i> de aceleração no eixo Y obtidas com o trator parado e funcionando a 850 rpm.....	41
Figura 31 – Aceleração no eixo Z obtida através do equipamento vib008, com o trator parado e funcionando a 850 rpm .....	42
Figura 32 – Aceleração no eixo Z obtida através do protótipo, com o trator parado e funcionando a 850 rpm .....	42
Figura 33 – Valores <i>rms</i> de aceleração no eixo Z obtidas com o trator parado e funcionando a 850 rpm.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frequência de ressonância ou natural dos órgãos do corpo humano.....	13
Tabela 2 – Intervalos de frequência para manifestação dos possíveis efeitos.....	15
Tabela 3 – Valores limites de exposição à vibração de mãos e braços .....	20
Tabela 4 – Valores de vibração limite para os eixos X, Y e Z .....	21
Tabela 5 – Limites de ação e exposição às vibrações.....	23
Tabela 6 – Limites de ação e exposição em termos da dose e exposição diária .....	23
Tabela 7 – Requisitos para o transdutor e periféricos .....	25
Tabela 8 – Exemplo de registro de uma medida .....	29
Tabela 9 – Resumo das medidas obtidas em repouso e erros relacionados a essas medidas ...	35
Tabela 10 - Resumo das medidas obtidas no trator e erros relacionados a essas medidas.....	39
Tabela 11 – Tabela de custo .....	43
Tabela 12 – Dados de vibração e período de uso das ferramentas .....	49
Tabela 13 – Dados de aceleração nos eixos X, Y e Z para um caminhão de entregas e uma empilhadeira .....	51
Tabela 14 – Dados de aceleração nos eixos X, Y e Z para um caminhão de entregas e uma empilhadeira .....	53



# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivos.....	12
1.1.1	Objetivo geral.....	12
1.1.2	Objetivos específicos.....	12
1.1.3	Justificativa.....	12
1.1.4	Estrutura do trabalho.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	A vibração.....	13
2.2	Os efeitos da exposição à vibração.....	14
2.3	Normas específicas para a exposição à vibração.....	15
2.3.1	<i>Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration - ISO 2361-1</i> .....	15
2.3.2	<i>Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to hand-arm vibration - ISO 5349</i> .....	18
2.3.3	<i>Threshold limit values for chemical substances and physical agents &amp; biological exposure indices - ACGIH</i> .....	20
2.3.4	Diretiva 2002/44/EC.....	22
2.3.5	Avaliação da exposição ocupacional vibrações de corpo inteiro - NHO 09.....	23
2.3.6	Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços - NHO 10.....	24
2.3.7	<i>Human response to vibration – Measuring instrumentation - ISO 8041</i> .....	24
2.4	Exemplos de aplicação.....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1	Módulo de aquisição.....	26
3.2	Módulo de processamento.....	26
3.3	Módulo de Registro.....	28
3.4	Ambiente de desenvolvimento.....	29
3.5	Projeto da proteção do módulo de aquisição.....	30
3.6	Medições.....	32
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	33
4.1	Equipamento.....	33
4.2	Medidas.....	34
4.2.1	Medidas obtidas em repouso.....	34
4.3	Medição realizada em um trator.....	39
4.4	Custo.....	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
	TRABALHOS FUTUROS.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

APÊNDICE .....	48
APÊNDICE A – Exemplos de aplicação para vibração de mãos e braços e corpo inteiro ..	48
Vibração de mãos e braços .....	48
Vibração de corpo inteiro .....	50

## 1 INTRODUÇÃO

A intensa utilização de máquinas, desde a revolução industrial até os dias de hoje, insere, no ambiente de trabalho, agentes físicos que podem ser prejudiciais à saúde do trabalhador. A vibração, documentada por Ramazzini em 1700 (RAMAZZINI, 1999), é um desses agentes.

Em 1862 o físico francês Maurice Raynaude descreveu alguns distúrbios vasculares apresentados por indivíduos expostos à vibração de mãos e braços. Em 1911 o médico Giovanni Loriga descreveu os sintomas da síndrome de *Raynaude* apresentados por trabalhadores que operavam marteletes, porém, somente em 1918 a médica Alice Hamilton relacionou a síndrome ao agente físico vibração (WASSERMAN, 1994).

Mesmo documentado há mais de 100 anos, esse agente físico afeta ainda hoje, de acordo com (WASSERMAN, 1994) cerca de dois milhões de trabalhadores apenas nos Estados Unidos e na Alemanha estima-se que cerca de três milhões de pessoas estejam expostas a vibração (“Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review,” 2008).

Muito se tem investigado sobre esse tema, e a criação de grandes projetos como *VIBGUIDE*<sup>1</sup>, *VIBRISKS*<sup>2</sup>, *VIBSEAT*<sup>3</sup>, *VINET*<sup>4</sup>, *TESTOPS*<sup>5</sup>, *COMPASS*<sup>6</sup> e *VIBTOOL*<sup>7</sup> apenas reforçam esse fato. Mesmo com esses esforços de divulgação de riscos atrelados as vibrações, poucos profissionais da área de segurança e higiene do trabalho têm conhecimento e os instrumentos adequados para identificar esse agente.

O trabalho de Paschold e Sergeev (2009) compilou dados de uma pesquisa sobre vibração realizada com 2764 profissionais da área de segurança e higiene do trabalho. Nessa pesquisa evidenciou-se essa lacuna de conhecimento nos profissionais com relação a esse tema, uma vez que 69,5% dos entrevistados, dentro das métricas adotadas, não atingiram o patamar de conhecimentos básicos sobre vibração e seus efeitos no corpo humano.

---

<sup>1</sup> <http://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/VIBGUIDE.htm>

<sup>2</sup> <http://www.vibrisks.soton.ac.uk/>

<sup>3</sup> <http://www.southampton.ac.uk/~vibseat/>

<sup>4</sup> <http://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/VINET/index.htm>

<sup>5</sup> <http://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/TESTOPS/index.htm>

<sup>6</sup> <http://www.humanvibration.com/humanvibration/EU/compass.html>

<sup>7</sup> <http://www.humanvibration.com/humanvibration/EU/vibtool.html>

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Desenvolver e analisar um protótipo de equipamento de medição de vibração ocupacional, que auxilie os técnicos e engenheiros de segurança na identificação de equipamentos, cujo nível de vibração possa causar algum dano à saúde do trabalhador.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Descrever o funcionamento do equipamento e das partes que o compõe. Analisar os resultados obtidos e compará-los com os resultados de um equipamento comercial.

### **1.1.3 Justificativa**

O pouco conhecimento dos profissionais, com relação à vibração e suas implicações, aliado ao alto custo dos equipamentos faz com que esse agente não seja percebido ou até mesmo ignorado.

### **1.1.4 Estrutura do trabalho**

Quanto à estrutura, os capítulos conseguintes estão organizados da seguinte maneira:

- **Fundamentação teórica:** Nesse capítulo são apresentados os conceitos e classificações das vibrações, bem como os males causados por ela. As metodologias e limites impostos pelas normas ISO 2361, ISO 5349 e NIOSH também são descritas.
- **Materiais e Métodos:** Nesse capítulo estão descritos os materiais necessários para a montagem do equipamento de medição, o método utilizado e a forma como as medições foram realizadas.
- **Apresentação e discussão dos resultados:** Nesse capítulo são apresentados os resultados do aparelho proposto, os resultados obtidos por ele e uma comparação entre os resultados obtidos pelo aparelho proposto e um comercial.
- **Conclusão:** Nesse capítulo são apresentados comentários pertinentes aos resultados obtidos
- **Melhorias futuras:** Nesse capítulo são discutidas as melhorias que podem ser feitas ao projeto

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A vibração

Para da Silva e Beck (2012) vibração é todo movimento que se repete com certa frequência em torno de uma posição de equilíbrio, bem como das forças e momentos a ele associados, ou simplesmente movimento oscilatório (GRIFFIN, 1990). Usualmente a vibração é expressa em termos de sua magnitude (aceleração ( $m/s^2$ )) e frequência (Hz).

O movimento oscilatório de um objeto pode ser descrito como função de sua massa e sua constante elástica. Quando esse objeto, por exemplo, é o corpo humano, os efeitos da vibração são diversos, uma vez que este não é homogêneo. Portanto o corpo humano possui diferentes frequências de ressonância.

Um objeto está vibrando em sua frequência de ressonância ou frequência natural quando a amplitude máxima de vibração deste é maior que a amplitude original. No corpo humano o comportamento é semelhante, pois para uma mesma frequência, a vibração em alguns órgãos pode ser atenuada ou amplificada. A Tabela 1 relaciona os principais órgãos com suas respectivas frequências de ressonância.

Tabela 1 – Frequência de ressonância ou natural dos órgãos do corpo humano

<b>Órgãos</b>	<b>Frequências de ressonância [Hz]</b>
Pulmões	4 a 8
Abdômen	4 a 8
Ombros	4 a 8
Coluna	8
Cabeça	20 a 40
Mãos e braços	20 a 70
Tórax	60
Globo ocular	60 a 90
Maxilar	100 a 200

Fonte: (HARRIS *et al.*, 2009)

O órgão que tem suas frequências de ressonância definidas em intervalos se deve ao fato de terem sido obtidas de diferentes pessoas.

Existem duas formas de exposição à vibração: A vibração de corpo inteiro (*Whole Body Vibration - WBV*) a qual é transmitida por partes fixas ou móveis de equipamentos para o trabalhador estando esse em pé ou sentado, e a vibração de mãos e braços (*Hand-arm Vibration - HAV*) a qual é transmitida apenas as mãos e braços.

No tópico a seguir são citados os principais efeitos da exposição à vibração.

## 2.2 Os efeitos da exposição à vibração

Os efeitos da vibração quanto à localização, são divididos em duas categorias: efeitos da vibração nas mãos e braços e efeitos da vibração no corpo inteiro.

Nas mãos e braços os principais efeitos são:

- Distúrbios ósseos e musculares (ASTRÖM *et al.*, 2006);
- Distúrbios vasculares (*Raynaud phenomenon*) (MCCANN *et al.*, 1945), (CHETTER *et al.*, 1998) e (BOVENZI, 1990).

A vibração de corpo inteiro acontece quando a vibração é transmitida para o corpo humano como um todo não importando se a postura seja em pé, sentado ou reclinado. Quando o trabalhador está totalmente exposto à vibração ele pode apresentar os seguintes sintomas:

- Distúrbios posturais (BOVENZI; BETTA, 1994), (QASSEM; OTHMAN, 1993), (LUNDSTRO *et al.*, 2005) e (BOSHUIZEN *et al.*, 1990);
- Distúrbios digestivos, circulatórios e de audição (ANDERS *et al.*, 1994).

Segundo Freitas Filho *et al.*, 2002 os distúrbios listados acima podem ou não se manifestar no operador, pois existem muitos fatores intrínsecos (postura, orientação, peso, sexo, idade entre outros) e fatores extrínsecos (combinações de frequências e tempo de exposição, temperatura, ruído) que afetam a percepção e avaliação da vibração e também a manifestação de seus sintomas.

## 2.3 Normas específicas para a exposição à vibração

O anexo número 8 da NR-15 Portaria SSMT n.º 12, de 06 de junho de 1983, que versa sobre a exposição do trabalhador a vibrações toma por base os limites de tolerância definidos pela Organização Internacional para a Normalização (ISO), especificamente definidos nas normas ISO 2361 e ISO/DIS 5349 ou suas substitutas. Entretanto existem outras normas e diretivas que também definem limites de conforto e exposição à vibração. Abaixo estão listadas as normas citadas pela norma brasileira e também outras mundialmente utilizadas.

### 2.3.1 *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration - ISO 2361-1*

A norma internacional ISO 2361-1 (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 1997) (*Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration*) em sua primeira parte define métodos para quantificar apenas a vibração de corpo inteiro (*whole-body vibration - WBV*) em relação à saúde e conforto, percepção da vibração e enjoo nos seres humanos. Essa norma não estabelece limites de exposição à vibração, em contrapartida estabelece os intervalos de frequência adotados para os critérios supracitados, Tabela 2.

Tabela 2 – Intervalos de frequência para manifestação dos possíveis efeitos

<b>Intervalo de frequência [Hz]</b>	<b>Possíveis efeitos</b>
0,1 a 0,5	Enjoo
0,5 a 80	Saúde, conforto e percepção

Fonte: Adaptado de (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 1997)

Essa norma também estabelece como as medições devem ser feitas, os tópicos abordados são:

- Posição do trabalhador
- Direção da medida
- Ambiente de medida
- Arranjo dos transdutores
- Duração da medida

Todas as medidas devem ser obtidas adotando-se o sistema de coordenadas ilustrados nas figuras Figura 1 e Figura 2.

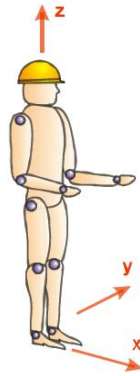


Figura 1 – Direção dos eixos ortogonais para medição da vibração na posição em pé

Fonte: Good Practice Guide Whole Body Vibration, 2008

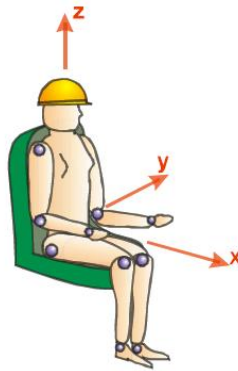


Figura 2 – Direção dos eixos ortogonais para medição de vibração na posição sentado

Fonte: Good Practice Guide Whole Body Vibration, 2008

Os métodos para cálculo da vibração de corpo inteiro que serão discutidos nos tópicos seguintes foram extraídos da norma ISO 2361-1.

### 2.3.1.1 *Root Mean Square (rms)* ou *aceleração rms*

Esse é o método mais básico apresentado pela norma ISO 2361-1. Toda e qualquer avaliação de vibração, de acordo com essa norma, deve utilizar o valor de aceleração ponderada em seus cálculos. Utiliza-se a aceleração ponderada, pois ela fornece um valor representativo da aceleração para um dado período de tempo.

A aceleração *rms* ponderada também é expressa em  $m/s^2$  e pode ser calculada pela Equação 1.



$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \times \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad (\text{Eq.1})$$

onde,

$a_w^2(t)$  é aceleração ponderada em  $m/s^2$

$T$  é a duração da medida em s

Existem casos em que o presente método não é aplicável. A não aplicabilidade desse método pode ser obtida através do fator de crista. Esse fator é definido como o módulo da relação entre o valor máximo da aceleração ponderada e seu valor *rms*. Essa medida pode indicar à existência de choques que, mesmo sendo desagradáveis e potencialmente prejudiciais ao ser humano, passam incólumes a ao método em questão. A norma estabelece que vibrações, cujos valores de crista são superiores ou iguais a nove, devem ser avaliadas por outro método.

O método a seguir é utilizado para vibrações, cujos valores de crista são superiores a nove.

### 2.3.1.2 *The running r.m.s value*

Esse método leva em consideração a ocorrência de choques ocasionais e transientes de vibração através do uso de um curto período de tempo de integração. A magnitude de vibração é definida como o máximo valor de vibração transiente ou *maximum transient vibration value (MTV)* no período, de acordo com a Equação 2.

$$a_w(t_0) = \sqrt{\frac{1}{T} \times \int_{t_0-\delta}^{t_0} [a_w^2(t)]^2 dt} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde,

$a_w(t)$  é a aceleração ponderada instantânea em  $m/s^2$

$\delta$  é o tempo de integração para s

$t$  é o tempo (variável de integração)

$t_0$  é o tempo do início da medição

### 2.3.1.3 Método de dose de vibração da quarta potência

Esse método também é conhecido por *Vibration Dose Value (VDV)* ou valor dose de vibração o qual é mais sensível à presença de picos do que o método mais comum. Diferentemente dos outros métodos, o valor dose de vibração é expresso em 3.

$$VDV = \sqrt[4]{\int_0^T [a_w(t)]^4 dt} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde,

$a_w(t)$  é a aceleração ponderada instantânea em  $m/s^{1,75}$

$T$  é a duração da medida

Quando a exposição à vibração consiste de dois ou mais períodos, de diferentes magnitudes o valor dose de vibração deve ser obtido pela Equação 4:

$$VDV_{total} = \sqrt[4]{\sum_i VDV_i^4} \quad (\text{Eq. 4})$$

onde,

$VDV_i$  é o valor dose de vibração para o período  $i$  em  $m/s^{1,75}$

### 2.3.2 *Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to hand-arm vibration - ISO 5349*

A norma internacional ISO 5349 (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 1979) (*Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to hand-arm vibration*) limita a seu escopo os métodos gerais para medir e informar a exposição da vibração e limites temporários de exposição à vibração transmitida as mãos e braços.

A vibração de mãos e braços de acordo com essa norma, assim como na norma ISO 2361, também é baseada na aceleração ponderada total dada pela Equação 5.

$$A_{hv} = \sqrt{(A_{hwx})^2 + (A_{hwy})^2 + (A_{hwz})^2} \quad (\text{Eq. 5})$$

onde,

$A_{hv}$  é a aceleração ponderada total  $m/s^2$

$A_{hwx}$  é a aceleração no eixo x  $m/s^2$

$A_{hwy}$  é a aceleração no eixo y  $m/s^2$

$A_{hwz}$  é aceleração no eixo z  $m/s^2$

A orientação das ordenadas é feito de acordo com a Figura 3

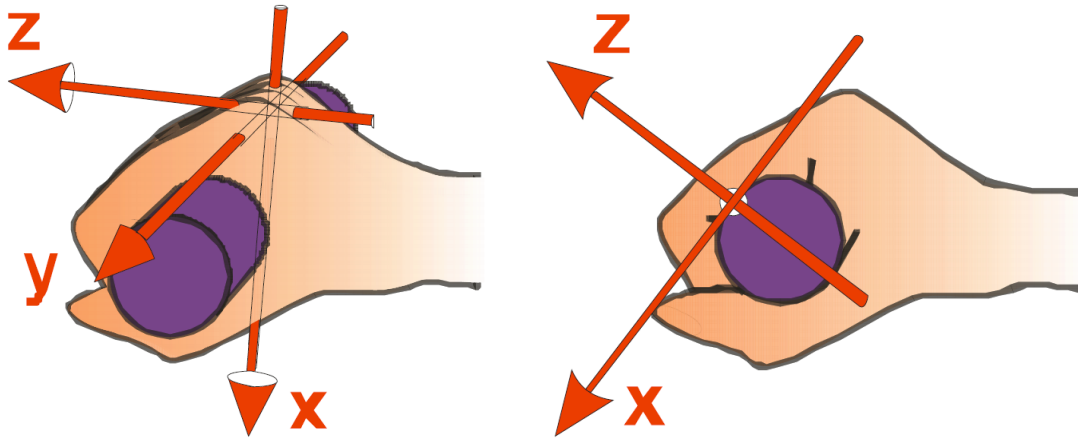


Figura 3 – Direção das coordenadas adotadas para medição de vibração de mãos

Fonte: Good Practice Guide Hand-arm Vibration, 2006

A exposição diária a esse agente também é uma métrica utilizada por essa norma. Essa métrica extrapola os resultados obtidos para uma jornada de trabalho de 8 horas. A exposição diária a vibração pode ser obtida pela Equação 6.

$$A(T_0) = A_{hv} \times \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (\text{Eq. 6})$$

onde,

$A(T_0)$  é a exposição diária total em  $m/s^2$  normalizada para um período  $T_0$

$A_{hv}$  é a aceleração ponderada total  $m/s^2$

$T$  Tempo em horas do intervalo de tempo de utilização do equipamento

$T_0$  Tempo em horas para o qual se deseja extrapolar a medida obtida

Usualmente utiliza-se um tempo  $T_0$  de 8 horas, pois assim a medida é extrapolarada para um período usual de trabalho.

### 2.3.3 **Threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices - ACGIH**

A ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) classifica as vibrações, assim como as outras normas e diretivas, em vibrações de mãos e braços ou de corpo inteiro. Ela faz referencia a norma ISO 5349 quanto aos procedimentos e métodos adotados para vibrações de mãos e braços. Quanto às vibrações de corpo inteiro ela indica os procedimentos e métodos descritos na ISO 2361.

A Tabela 3 a seguir ilustra os valores limites estabelecidos por essa norma para vibrações de mãos e braços.

Tabela 3 – Valores limites de exposição à vibração de mãos e braços

<b>Tempo total diário de exposição</b> <b>T [horas]</b>	<b>Valores de aceleração que não devem ser excedidos</b>	
	$[m/s^2]$	[g]
$4 < T < 8$	$\cong 4$	0,4
$2 < T < 4$	$\cong 6$	0,61
$1 < T < 2$	$\cong 8$	0,81
$T < 1$	$\cong 12$	1,22

Fonte: Adaptado de (ACGIH, 2010)

Os valores da terceira coluna da tabela acima estão representados como porcentagem da aceleração gravitacional. Essa norma estabelece também que esses limites não devem ser excedidos para nenhum dos eixos ortogonais, em outras palavras, a aceleração para os eixos x, y e z não devem separadamente exceder esses limites.

Os valores de exposição limites para vibrações de corpo inteiro, para um tempo de exposição de oito horas, são ilustrados na tabela.

Tabela 4 – Valores de vibração limite para os eixos X, Y e Z

Frequência [Hz]	Aceleração [ $m/s^2$ ]	
	Eixos x e y	Eixo z
1	0,224	0,630
1,25	0,224	0,560
1,6	0,224	0,500
2,0	0,224	0,450
2,5	0,280	0,400
3,15	0,355	0,355
4,0	0,450	0,315
5,0	0,560	0,315
6,3	0,710	0,315
8,0	0,900	0,315
10,0	1,120	0,400
12,5	1,400	0,500
16,0	1,800	0,630
20,0	2,240	0,800
25,0	2,800	1,000
31,5	3,550	1,250
40,0	4,500	1,600
50,0	5,600	2,000
63,0	7,10	2,500
80,0	9	3,150

Fonte: Adaptado de (ACGIH, 2010)

A aceleração total *rms* para o eixo “X” pode ser calculada pela Equação 7.

$$A_{wx} = \sqrt{\sum (W_{fx} \times A_{fx})^2} \quad (\text{Eq. 7})$$

onde,

$A_{wx}$  é a aceleração ponderada total para o eixo de medição x

$W_{fx}$  é o fator de ponderação para o eixo x para cada terço de oitava para banda de frequência de 1 a 80 Hz

$A_{fx}$  é o valor de aceleração r.m.s para o eixo x para cada terço de oitava para banda de frequência de 1 a 80 Hz

Os valores de aceleração ponderada total para os eixos “Y” e “Z” são obtidos através da mesma equação.

Tratando-se de grandezas vetoriais essas acelerações podem, quando combinadas entre si, ter intensidade superior à estipulada pela norma, mesmo que individualmente não ultrapassem os limites. Portanto a aceleração resultante sobre o trabalhador pode ser calculada pela Equação 8.

$$A_{wx} = \sqrt{(1,4 \times A_{wx})^2 + (1,4 \times A_{wy})^2 + (A_{wz})^2} \quad (\text{Eq. 8})$$

A Comissão das Comunidades da União Europeia recomenda que a aceleração ponderada total *rms* de  $0,5 \text{ m/s}^2$  seja adotada como nível de ação para um período de 8 horas de trabalho (ACGIH, 2010).

Com relação ao fator de crista, a ACGIH indica a utilização do método “Método da quarta potência” quando esse fator exceder o valor de 6.

#### **2.3.4 Diretiva 2002/44/EC**

Essa diretiva europeia estabelece os requisitos mínimos proteção contra a exposição à vibração. Essa diretiva é foi apontada como referência para a elaboração do relatório (“Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review,” 2008).

A Tabela 5 indica os valores limites e valores de ação, referenciados para um tempo de exposição padronizado de oito horas, indicados pela diretiva.

Tabela 5 – Limites de ação e exposição às vibrações

<b>Classificação da vibração</b>	<b>Limite de exposição [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>Limite de ação [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>VDV limite [m/s<sup>1,75</sup>]</b>	<b>VDV limite de ação [m/s<sup>1,75</sup>]</b>
Vibração de mãos e braços	5	2,5	-	-
Vibração de corpo inteiro	1,15	0,5	21,5	9,1

Fonte: Adaptado de (OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2002)

Essa diretiva, assim como o anexo 8 da NR-15, indica as procedimentos das normas ISO 2361 e ISO/DIS 5349 respectivamente para o cálculo da exposição a vibração de braços/mãos e corpo inteiro.

A diretiva também apresenta as obrigações dos empregadores; as medidas que devem ser adotadas para reduzir a exposição do trabalhador à vibração; e como fornecer informação e treinamento aos trabalhadores.

### 2.3.5 Avaliação da exposição ocupacional vibrações de corpo inteiro - NHO 09

Essa norma técnica elaborada pela Fundacentro estabelece critérios e procedimentos para a avaliação da exposição a vibração de corpo inteiro (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013a).

Os limites de ação e exposição adotados por essa norma, em termos do valor de exposição e dose exposição e dose diária estão ilustrados na

Tabela 6.

Tabela 6 – Limites de ação e exposição em termos da dose e exposição diária

<b>Classificação da vibração</b>	<b>Limite de exposição [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>Limite de ação [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>VDVR limite [m/s<sup>1,75</sup>]</b>	<b>VDVR limite de ação [m/s<sup>1,75</sup>]</b>
Vibração de corpo inteiro	1,10	0,5	21,0	9,1

Fonte: (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013a)

Comparando-se os dados da Tabela 5 (limites estabelecidos pela Diretiva 2002/44/EC) e

Tabela 6 para vibrações de corpo inteiro, verifica-se que os limites impostos pela norma brasileira são mais restritivos. Outra diferença entre a NHO 09 e as outras internacionais é que o valor da dose de vibração adotado é calculado de forma diferente. Nas normas internacionais adota-se o valor dose de vibração como sendo o maior valor de dose de vibração obtido entre os três eixos ortogonais, entretanto a norma brasileira utiliza o conceito de valor dose resultante ou VDVR.

O valor da dose de vibração resultante corresponde ao valor da dose de vibração diária considerando a resultante dos três eixos de medição. A Equação 9 ilustra essa definição.

$$VDVR = \sqrt[4]{\sum_j (VDVexp_j)^4} \quad (\text{Eq. 9})$$

onde,

$VDVexp_j$  é o valor da dose de vibração em  $m/s^{1,75}$

j são os eixos de vibração X, Y e Z

### **2.3.6 Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços - NHO 10**

Essa norma técnica tem por objetivo estabelecer critérios e procedimentos para a avaliação da exposição à vibração de mãos e braços (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013b).

Os limites de ação e exposição estabelecidos por essa norma são os mesmos adotados pela Diretiva 2002/44/EC. As equações para cálculo da dose de exposição à vibração e o valor de exposição são as mesmas propostas pela ISO 5349.

### **2.3.7 Human response to vibration – Measuring instrumentation - ISO 8041**

Essa norma tem por objetivo especificar os requisitos de desempenho e tolerância de equipamentos para medição de vibração. As especificações são validas para vibrações de mãos e braços, de corpo inteiro e de corpo inteiro para vibrações de baixa frequência. Os principais requisitos exigidos pela norma, para o transdutor, estão listados na tabela a seguir.



Tabela 7 – Requisitos para o transdutor e periféricos

<b>Característica</b>	<b>Vibração de mãos e braços</b>	<b>Vibração de corpo inteiro em veículos</b>	<b>Vibração de corpo inteiro em construções</b>	<b>Vibração de corpo inteiro de baixa frequência</b>
Massa do transdutor	5 g	50 g	200 g	200 g
Massa do transdutor e sistema de montagem	30 g	300 g	1 kg	1 kg
Tamanho do transdutor e sistema de montagem	0,25x0,25x0,25 m	Banco: 0,2 x 0,02 m Outros locais: 0,3 x 0,3 x 0,3 m	0,2 x 0,2 x 0,5 m Altura de 0,05 m	0,2 x 0,2 x 0,1 m
Aceleração máxima de choque	30000 m/s <sup>2</sup>	1000 m/s <sup>2</sup>	500 m/s <sup>2</sup>	500 m/s <sup>2</sup>
Frequência de ressonância	10 kHz	800 Hz	-	5 Hz

Fonte: (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 2002)

## 2.4 Exemplos de aplicação

Encontra-se no Apêndice A alguns exemplos de aplicação em que utilizou-se os métodos descritos anteriormente. Os exemplos de aplicação para vibração em mãos e braços foram adaptados de (Good Practice Guide to Hand-arm Vibration, 2006) e os exemplos de vibração de corpo inteiro foram adaptados de (Good Practice Guide to Whole Body Vibration, 2008).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo serão listados os materiais utilizados na montagem do equipamento e também a metodologia adotada na medição da vibração.

O equipamento é composto basicamente por três módulos: módulo de aquisição, módulo de processamento e módulo de registro.

#### 3.1 Módulo de aquisição

O módulo de aquisição é o acelerômetro (Figura 4), que por sua vez é um instrumento especialmente desenvolvido para medir a aceleração. O acelerômetro utilizado nessa placa é o modelo MMA7361 da fabricante Freescale. Dentre as principais características desse conjunto pode-se citar a dimensão (0,9 x 0,5 cm), leitura de aceleração nos eixos X, Y e Z, baixo consumo, sensibilidade de medição de -6g<sup>8</sup> a 6g e alta resistência a choques.



Figura 4 – Placa com acelerômetro MMA7361

Fonte: SPARKFUN, 2013

Quando em funcionamento, o acelerômetro converte os valores de vibração em níveis de tensão, essas flutuações ou variações de tensão são processadas pelo módulo de processamento de forma a obter-se o valor de aceleração ( $m/s^2$ ) da fonte de vibração.

#### 3.2 Módulo de processamento

O módulo de processamento é uma placa de prototipagem rápida open-source chamada Arduino. Existem oficialmente 15 tipos de placas da família Arduino, para o presente projeto utilizou-se a placa Arduino Uno (Figura 5) e (Figura 6).

---

<sup>8</sup> g é o valor da aceleração da gravidade  $9,81 m/s^2$



Figura 5 – *Arduino Uno R2*– Vista topo

Fonte: ARDUINO, 2013

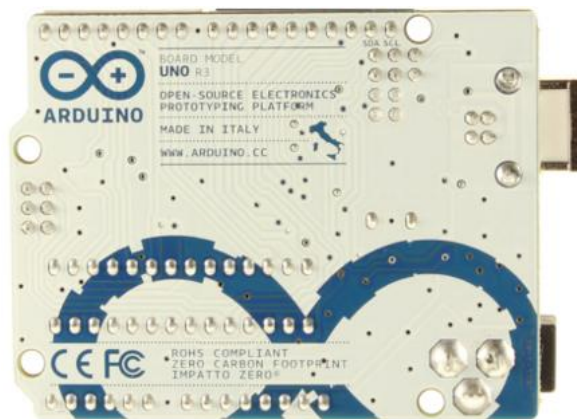


Figura 6 – *Arduino Uno R2* – Vista verso

Fonte: ARDUINO, 2013

Esse modelo de placa possui 14 pinos de entrada/saída digital, 6 entradas analógicas, comunicação USB e todo o resto necessário para atender as necessidade do Microcontrolador ATmega328, onde todo processamento é feito.

Nesse módulo os dados advindos do módulo de aquisição são devidamente tratados via software e enviados ao módulo de registro (Figura 7).

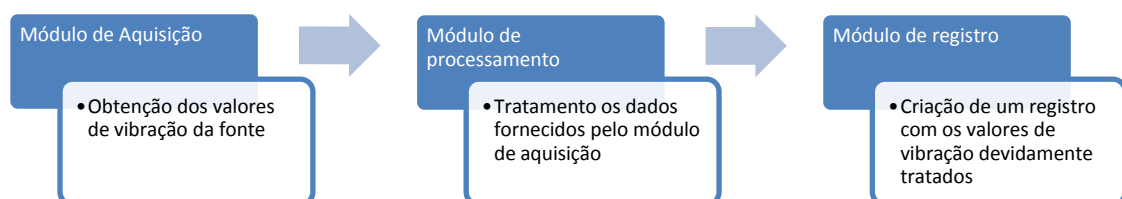


Figura 7 – Processo de obtenção, tratamento e registro dos dados

Fonte: Autor, 2013

Devido ao fato de que o microcontrolador ATmega328 pode ser programado em linguagem C++, foram utilizadas bibliotecas específicas para os módulos de aquisição e registro. No processo de aquisição e tratamento dos dados advindos do módulo de aquisição utilizou-se a biblioteca AcceleroMMA73619 e na etapa de registro dos dados utilizou-se a biblioteca SdFat10. Utilizaram-se também outras bibliotecas, cuja localização não é relevante uma vez que são disponibilizadas juntamente com o ambiente de desenvolvimento Arduino.

### 3.3 Módulo de Registro

O módulo de registro é o responsável por armazenar devidamente os dados de aceleração obtidos. Diferentemente dos outros módulos já apresentados, esse é composto por dois componentes. O primeiro deles (Figura 8) é a placa responsável por gravar os dados em um micro cartão SD (Secure Digital).

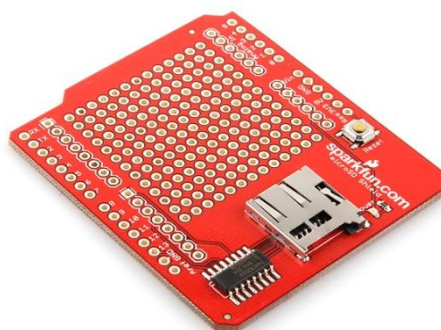


Figura 8 – Placa de registro dos dados

Fonte: SPARKFUN, 2013

O segundo componente é um Real Time Clock. Esse componente como o próprio nome diz dá informações de data. Utilizou-se o Real Time Clock (Figura 9) do mesmo fabricante da placa de gravação, a fim de evitar possíveis conflitos tanto no arranjo físico quanto elétrico.

---

<sup>9</sup> [https://code.google.com/p/mma7361-library/downloads/detail?name=AcceleroMMA7361\\_v0.8b.zip&can=2&q=](https://code.google.com/p/mma7361-library/downloads/detail?name=AcceleroMMA7361_v0.8b.zip&can=2&q=)

<sup>10</sup> <https://code.google.com/p/sdfatlib/downloads/detail?name=sdfatlib20121219.zip&can=2&q=>



Figura 9 – Real Time Clock

Fonte: SPARKFUN, 2013

A operação da placa de gravação em conjunto com o Real Time Clock possibilita a criação de registros precisos dos dados obtidos pelo módulo de aquisição. Esse registro é armazenado em um arquivo de texto no formato da Tabela 8.

Tabela 8 – Exemplo de registro de uma medida

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Aceleração eixo X</b>	<b>Aceleração eixo Y</b>	<b>Aceleração eixo Z</b>
Data: 07/3/13	Hora: 22:11:00	0,5 G	0,3 G	1,1 G

Fonte: Autor, 2013

### 3.4 Ambiente de desenvolvimento

É no ambiente de desenvolvimento que o código é implementado. Existem diversos editores cada qual com sua característica e foco de desenvolvimento. O projeto Arduino distribui de forma gratuita seu editor (Figura 10) para aplicações em voltadas a sua plataforma. A principal vantagem em utilizar esse editor é a interface de comunicação entre o Arduino e o editor, pois toda a comunicação é feita via cabo serial (USB).

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "AnalogReadSerial | Arduino 1.0.1". The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Sketch", "Ferramentas", and "Ajuda". The toolbar contains icons for opening, saving, and running. The main text area displays the following code:

```
/*  
 AnalogReadSerial  
 Reads an analog input on pin 0, prints the result to the serial monitor.  
 Attach the center pin of a potentiometer to pin A0, and the outside pins to +5V and ground.  
  
 This example code is in the public domain.  
 */  
  
 // the setup routine runs once when you press reset:  
 void setup() {  
   // initialize serial communication at 9600 bits per second:  
   Serial.begin(9600);  
 }  
  
 // the loop routine runs over and over again forever:  
 void loop() {  
   // read the input on analog pin 0:  
   int sensorValue = analogRead(A0);  
   // print out the value you read:  
   Serial.println(sensorValue);  
   delay(1);      // delay in between reads for stability  
 }  
}
```

The status bar at the bottom indicates "1" on the left and "Arduino Uno on COM7" on the right.

Figura 10 – Editor de texto para edição do código

Fonte: Autor, 2013

### 3.5 Projeto da proteção do módulo de aquisição

Partindo-se do pressuposto que o equipamento pode ser usado em variados ambientes, viu-se a necessidade de construir um case para a proteção do acelerômetro e também para a fácil orientação das coordenadas. O modelo elaborado com auxílio do software SolidWorks, tem dimensões 0,4 x 0,4 x 0,4 m e o material utilizado em sua construção foi o PEAD (Polietileno de Alta Densidade).

As figuras Figura 11, Figura 12 e Figura 13 mostram detalhes do case. Na vista explodida da Figura 13 o detalhe em vermelho representa o acelerômetro.

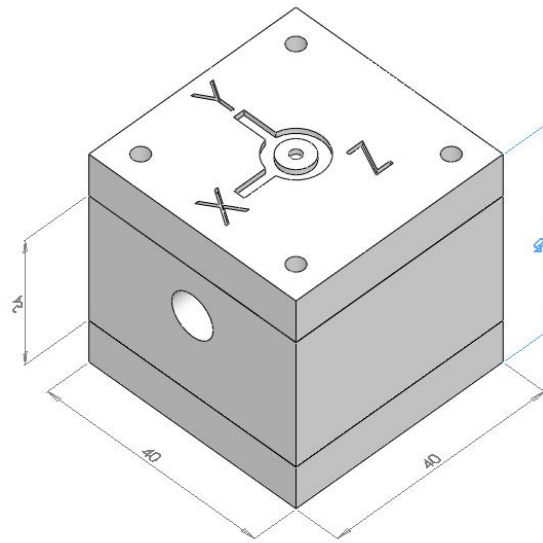


Figura 11 – Vista isométrica da proteção do módulo de aquisição. Unidade de medida em centímetros

Fonte: Autor, 2013

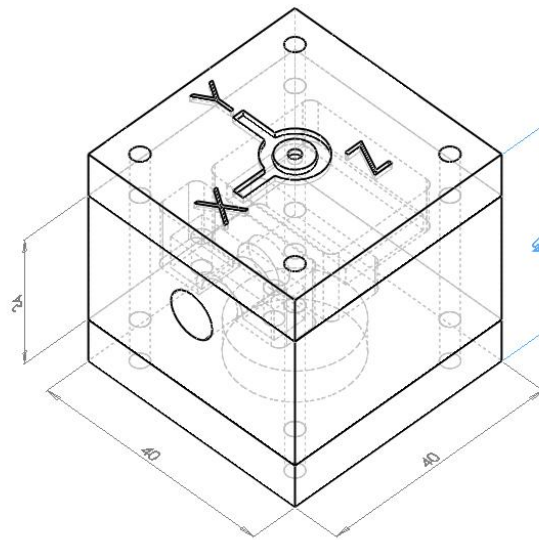


Figura 12 – Vista isométrica da proteção do módulo de aquisição. Unidade de medida em centímetros

Fonte: Autor, 2013

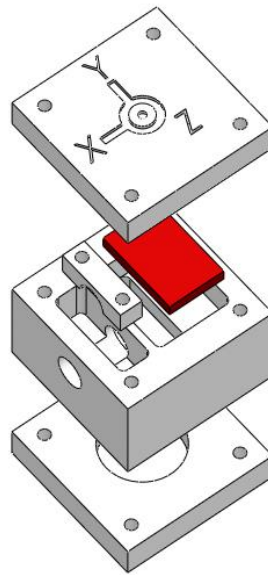


Figura 13 – Vista explodida da proteção do módulo de aquisição

Fonte: Autor, 2013

### 3.6 Medições

As medições foram realizadas observando-se os procedimentos estabelecidos pelas normas ISO 2361 e 5349. As medidas obtidas pelo equipamento proposto foram comparadas as medidas do equipamento vib008 da empresa 01dB.

Foram realizadas dois tipos de medições. A primeira medição foi realizada com ambos os sensores de vibração em repouso sobre uma mesa. A segunda medição foi realizada fixando-se os sensores ao volante de um trator em repouso, cuja velocidade de rotação era de 850 rpm. A segunda medição para ambos os equipamentos teve duração de dez minutos.



## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Equipamento

A Figura 14 ilustra o case em que estão alojados os módulos de processamento e registro. O equipamento, nessa versão, não possui uma fonte de independente de energia, por exemplo, uma bateria para alimentar seu circuito, portanto se faz necessária à utilização de uma fonte de alimentação externa compatível as especificações do Arduino Uno. A entrada USB fornecida pelo Arduino Uno pode ser acessada através do case. Nessa versão, o equipamento possui apenas dois estados de operação, ligado ou desligado. No momento em que este é ligado todos os valores lidos pelo módulo de aquisição passam a ser armazenados. As etapas de configuração e montagem devem ser feitas antes de se ligar o equipamento.



Figura 14 – *Case* onde estão alojados os módulos de processamento e registro

Fonte: Autor, 2013

A Figura 15 ilustra o módulo de aquisição conectado ao case. Os módulos são interconectados através de conectores Db9. Apenas uma das tampas da proteção do módulo de aquisição possui a orientação dos eixos X, Y e Z. O eixo Z deve sempre estar posicionado perpendicularmente ao solo.



Figura 15 – Módulos interconectados

Fonte: Autor, 2013

Todas as partes ilustradas na Figura 15, nos requisitos de dimensão e peso atendem a norma ISO 8041. Quanto à funcionalidade, o equipamento não atende os requisitos de frequência para vibrações de mãos e braços.

## 4.2 Medidas

Com a finalidade de validar os resultados obtidos pelo equipamento proposto, todas as medidas obtidas foram comparadas com as do equipamento vib008 da empresa 01dB.

### 4.2.1 Medidas obtidas em repouso

Os gráficos das figuras Figura 16 e Figura 17 ilustram os valores de aceleração, para o eixo X, de trezentas e quarenta e seis medidas obtidas respectivamente pelo equipamento proposto e o vib008. A Figura 18 ilustra o valor rms de aceleração para o eixo X para ambos os equipamentos. Os valores rms obtidos para o eixo X foram de 0,21 m/s<sup>2</sup> e 0,17 m/s<sup>2</sup> respectivamente para o vib008 e o equipamento proposto. O menor valor aceleração rms obtido pelo equipamento proposto não é evidência de melhor desempenho uma vez que o vib008 é um produto homologado e certificado. O erro entre os valores rms obtidos é de 23,52%.

Com o mesmo número de medidas, os gráficos das figuras Figura 19 e Figura 20 ilustram os valores de aceleração para o eixo Y, obtidos através dos equipamentos vib008 e protótipo respectivamente. Os valores rms, ilustrados na Figura 21, obtidos para o eixo Y foram de 0,29 m/s<sup>2</sup> e 0,33 m/s<sup>2</sup> respectivamente para o vib008 e o equipamento proposto. O erro entre os valores rms obtidos é de 13,79%.

Para o eixo Z, os gráficos das figuras Figura 22 e Figura 23 ilustram respectivamente os valores de aceleração obtidos através dos equipamentos vib008 e protótipo. Os valores rms para esse eixo, ilustrados na Figura 24, foram de 0,22 m/s<sup>2</sup> e 0,24 m/s<sup>2</sup> respectivamente para o vib008 e o equipamento proposto. O erro entre essas medidas é de 9,09%.

Pode-se observar que as medidas obtidas pelo equipamento proposto apresentam maior ruído para ambos os eixos de medição. Dentre os diversos fatores que influenciam o ruído em medições, para esse projeto, pode-se apontar como principal fonte, a dimensão do cabo utilizado, pois, além de possuir qualidade inferior ao equipamento vib008, também é mais comprido. A Tabela 9 ilustra os valores rms obtidos para ambos os equipamentos e os erros referentes às medidas.

Tabela 9 – Resumo das medidas obtidas em repouso e erros relacionados a essas medidas

<b>Equipamento</b>	<b>Eixos</b>		
	<b>X [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>Y [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>Z [m/s<sup>2</sup>]</b>
Vib008	0,21	0,29	0,22
Proposto	0,17	0,33	0,24
Erro	23,52%	13,79%	9,09%

Fonte: Autor, 2013

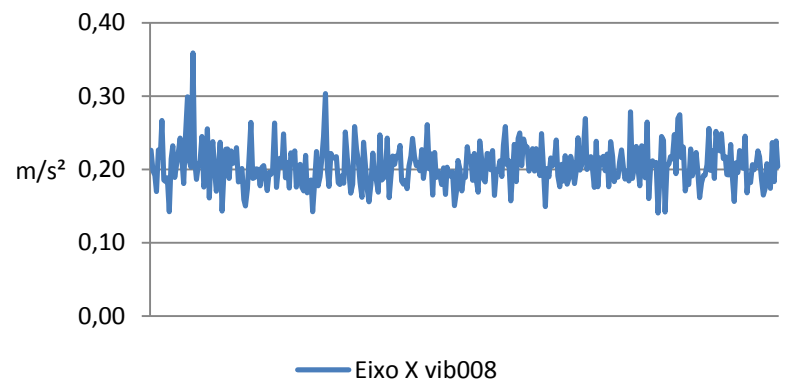


Figura 16 - Aceleração no eixo X obtida através do equipamento vib008

Fonte: Autor, 2013

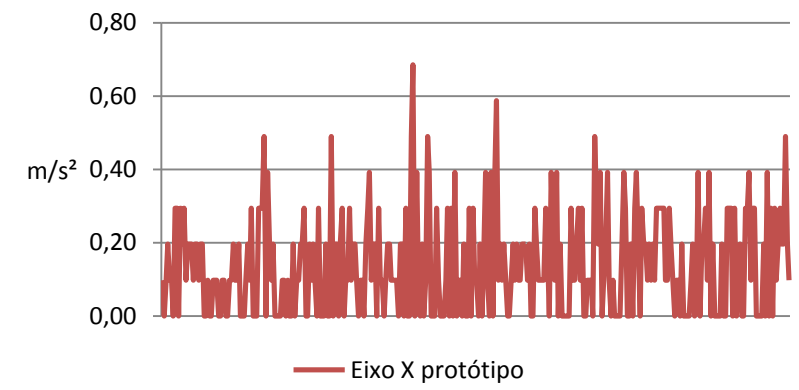


Figura 17 - Aceleração no eixo X obtida através do protótipo

Fonte: Autor, 2013

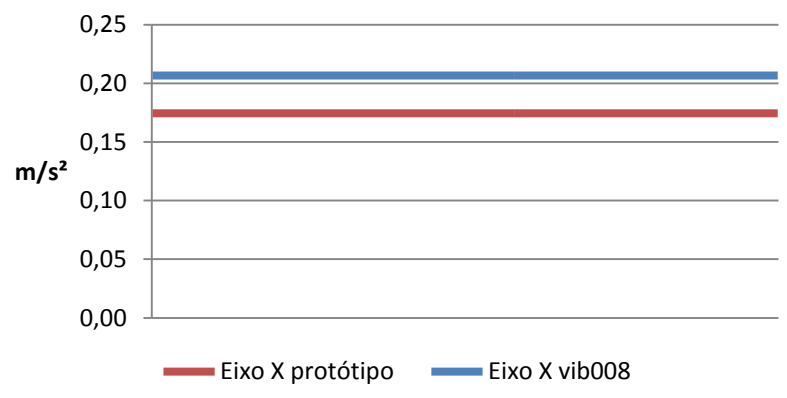


Figura 18 - Valores rms de aceleração no eixo X

Fonte: Autor, 2013

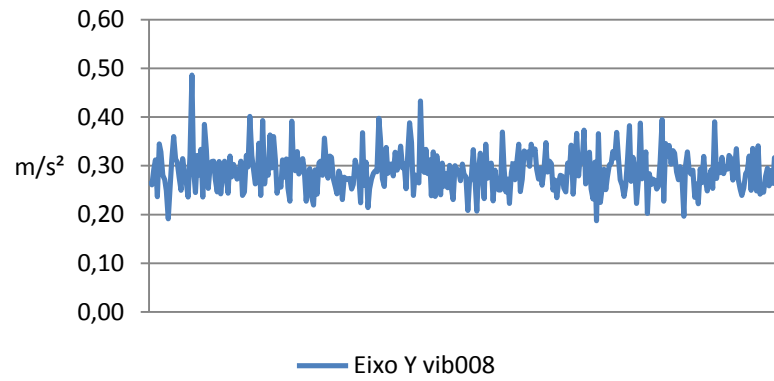


Figura 19 – Aceleração no eixo Y obtida através do equipamento vib008

Fonte: Autor, 2013

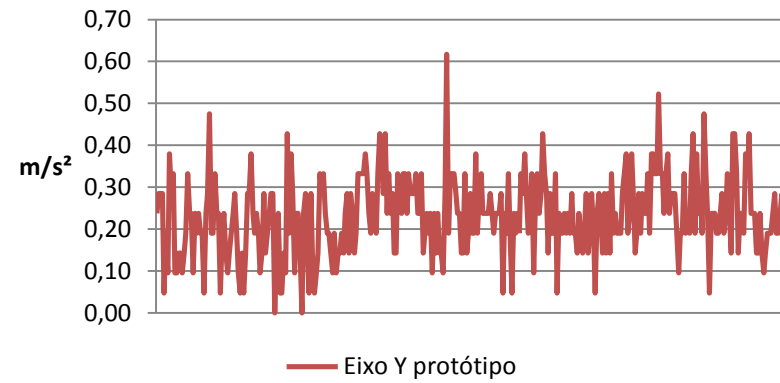


Figura 20 – Aceleração no eixo Y obtida através do protótipo

Fonte: Autor, 2013

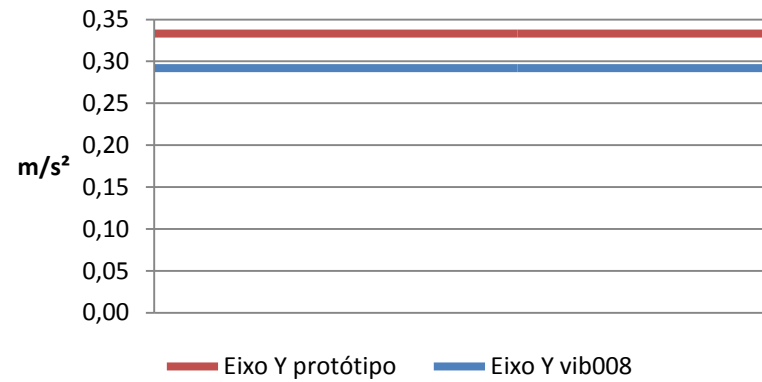


Figura 21 – Valores *rms* de aceleração no eixo Y

Fonte: Autor, 2013

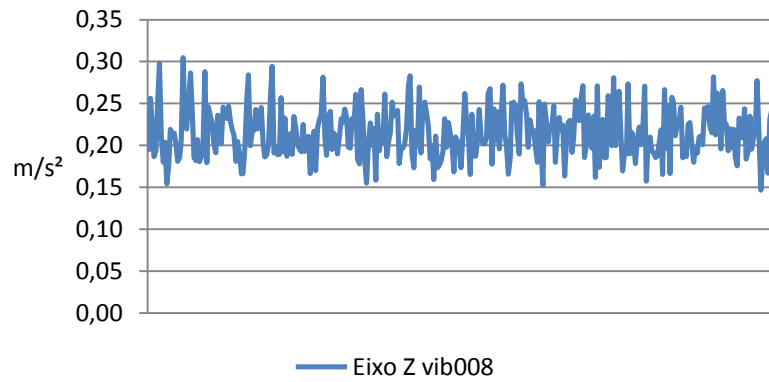


Figura 22 – Aceleração no eixo Z obtida através do equipamento vib008

Fonte: Autor, 2013

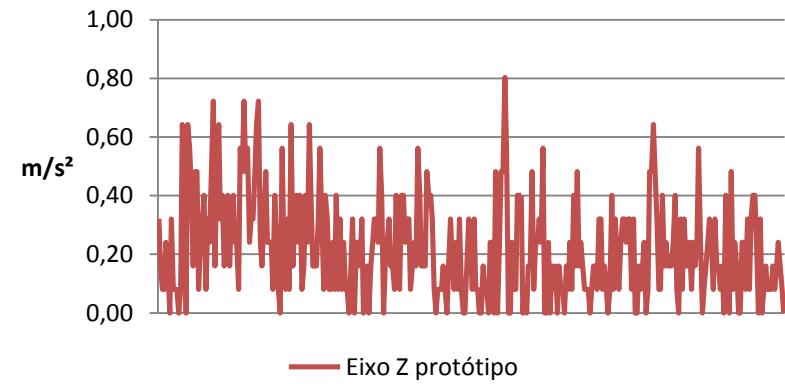


Figura 23 – Aceleração no eixo Z obtida através do protótipo

Fonte: Autor, 2013

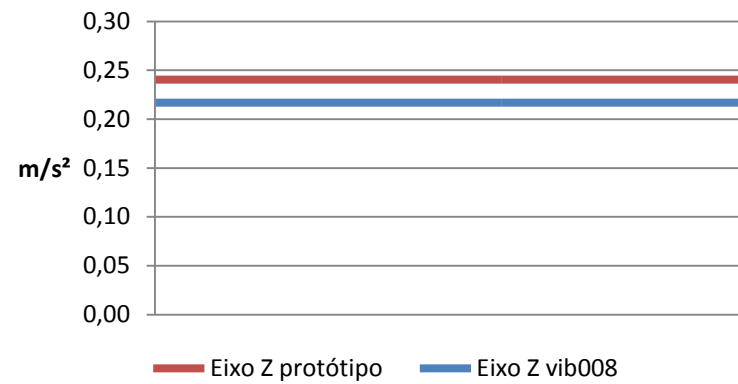


Figura 24 – Valores *rms* de aceleração no eixo Z

Fonte: Autor, 2013

### 4.3 Medição realizada em um trator

Neste capítulo são ilustrados os valores de aceleração obtidos para uma medição, com duração de dez minutos, realizada no volante de um trator New Holland modelo TT55 ano 2002.

As figuras Figura 25, Figura 28 e Figura 31 ilustram os valores de aceleração obtidos através do equipamento vib008. Os valores de aceleração obtidos através do equipamento proposto são ilustrados nas Figura 26, Figura 29 e Figura 32. Já os valores de aceleração *rms* nos eixos X, Y e Z para ambos os equipamentos são ilustrados nas Figuras Figura 27, Figura 30 e Figura 33.

A Tabela 10 a seguir ilustra os valores de aceleração obtidos para ambos os equipamentos e os erros relacionados a essas medidas.

Tabela 10 - Resumo das medidas obtidas no trator e erros relacionados a essas medidas

Equipamento	Rotação [rpm]	Eixos		
		X [m/s <sup>2</sup> ]	Y [m/s <sup>2</sup> ]	Z [m/s <sup>2</sup> ]
Vib008	≅ 850	1,88	1,54	1,02
Proposto	≅ 850	1,62	1,46	0,88
Erro		16,04%	5,40%	15,90%

Fonte: Autor, 2013

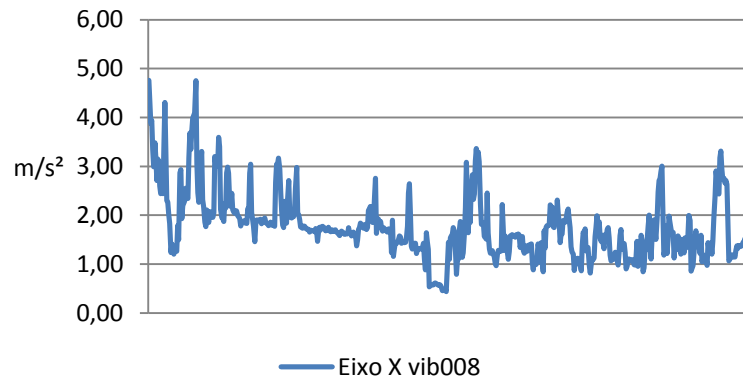


Figura 25 – Aceleração no eixo X obtida através do equipamento vib008, com o trator parado e funcionando a 850 rpm

Fonte: Autor, 2013

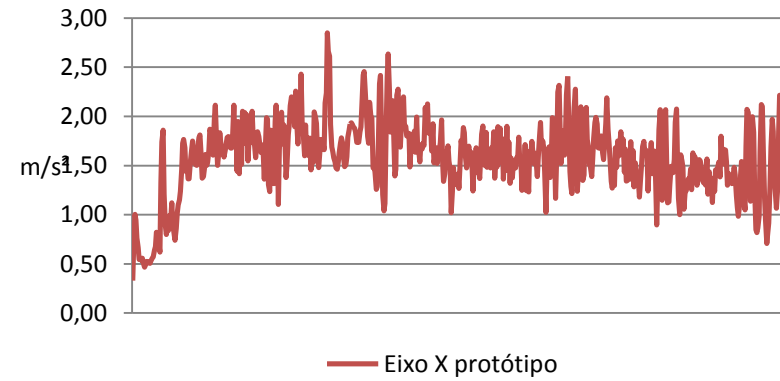


Figura 26 – Aceleração no eixo X obtida através do protótipo, com o trator parado e funcionando a 850 rpm

Fonte: Autor, 2013

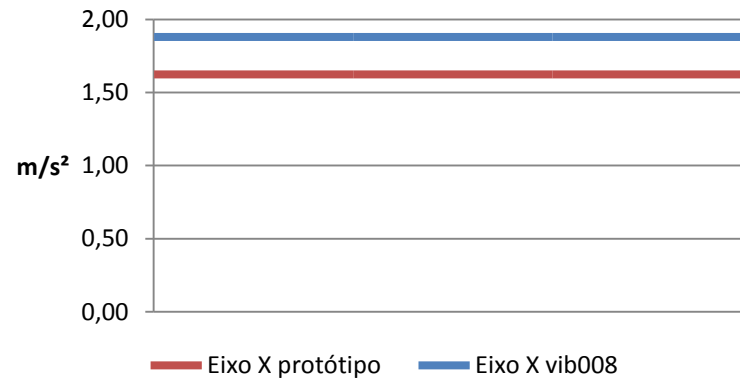


Figura 27 – Valores *rms* de aceleração no eixo X obtidas com o trator parado e funcionando a 850 rpm

Fonte: Autor, 2013



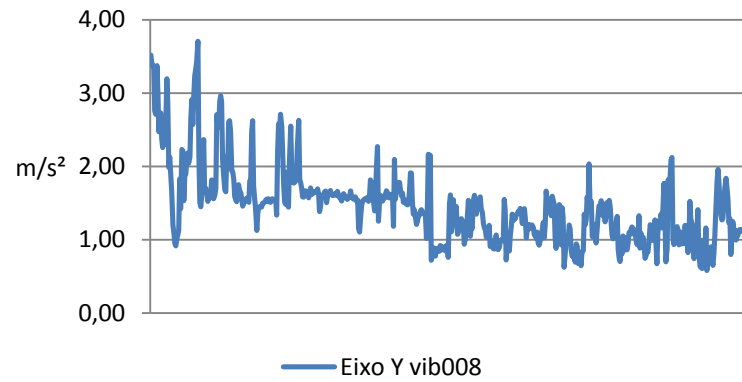


Figura 28 – Aceleração no eixo Y obtida através do equipamento vib008, com o trator parado e funcionando a 850 rpm

Fonte: Autor, 2013

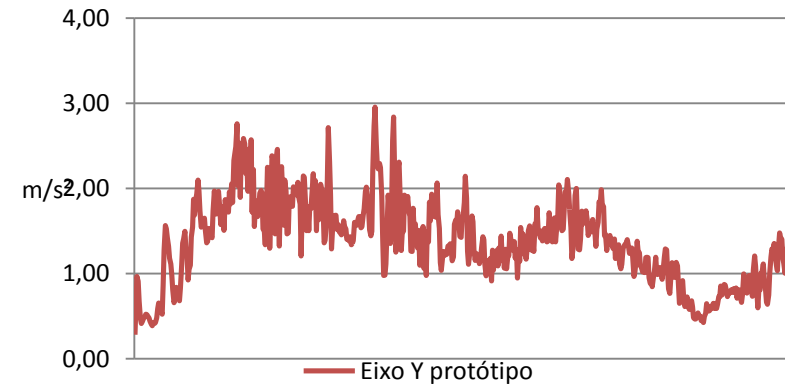


Figura 29 – Aceleração no eixo Y obtida através do protótipo, com o trator parado e funcionando a 850 rpm

Fonte: Autor, 2013

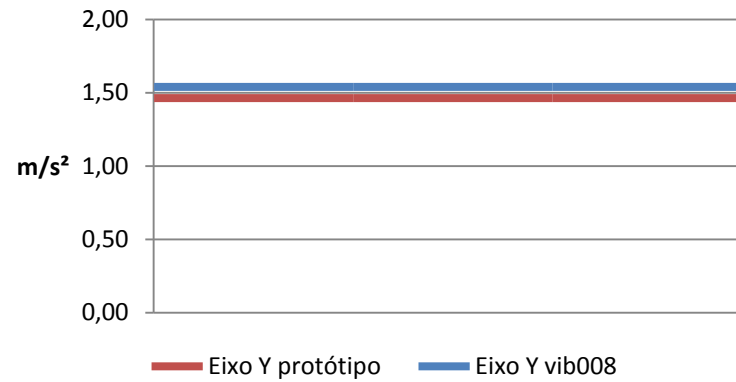


Figura 30 – Valores *rms* de aceleração no eixo Y obtidas com o trator parado e funcionando a 850 rpm

Fonte: Autor, 2013

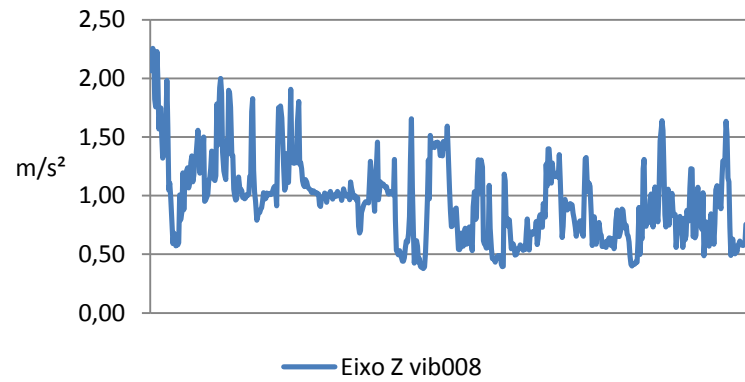


Figura 31 – Aceleração no eixo Z obtida através do equipamento vib008, com o trator parado e funcionando a 850 rpm

Fonte: Autor, 2013

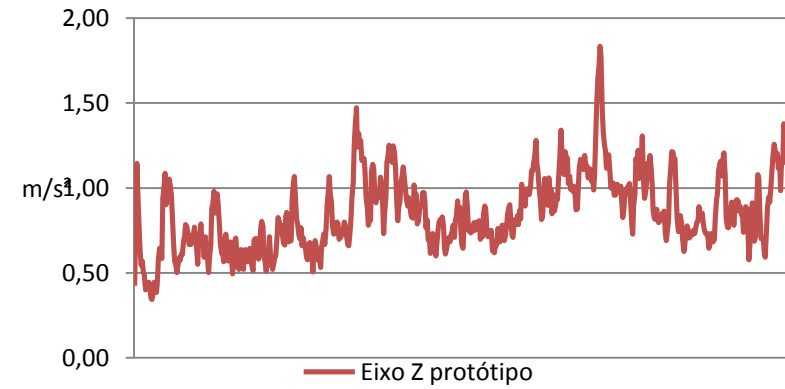


Figura 32 – Aceleração no eixo Z obtida através do protótipo, com o trator parado e funcionando a 850 rpm

Fonte: Autor, 2013

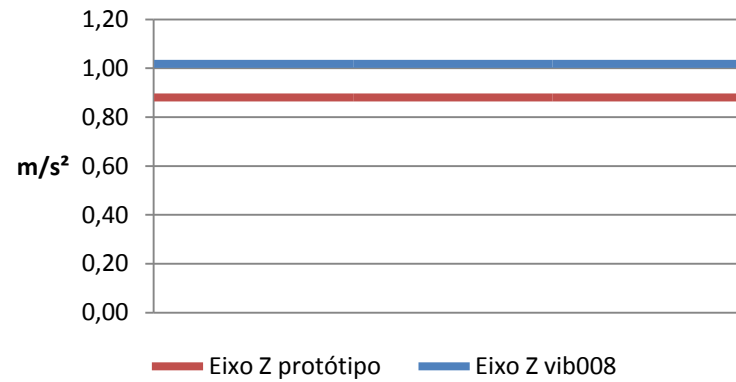


Figura 33 – Valores *rms* de aceleração no eixo Z obtidas com o trator parado e funcionando a 850 rpm

Fonte: Autor, 2013

#### 4.4 Custo

A Tabela 11 contém os valores dos recursos utilizados e o custo total do projeto.

Tabela 11 – Tabela de custo

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo (R\$)</b>
Acelerômetro	1 unidade	23,00
<i>Real time clock</i>	1 unidade	20,00
Arduino Uno	1 unidade	33,45
Cartão Micro SD	1 unidade	12,99
Cabo manga	1 m	0,00*
Conectores Db9	2 unidades	1,00*
Mão de obra	1 unidade	50,00**
Caixa exterior	1 unidade	5,00
Botão	1 unidade	0,00*
Capacitor 1nF	1 unidade	0,00*
	<b>Total</b>	<b>145,44</b>

Fonte: Autor. \*Itens reaproveitados. \*\*Valor da usinagem da proteção para o módulo de aquisição

Os itens acelerômetro, *Real time clock* e Arduino Uno foram importados e os valores presentes na Tabela 11 já incluem taxa de câmbio, IOF e frete. Os demais componentes foram adquiridos na cidade de Curitiba.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa fase de desenvolvimento o equipamento apresentou resultados insatisfatórios quando comparados a um equipamento comercial, pois se tratando de um equipamento de medição, os erros obtidos estão acima de um limite tolerável. O custo total do projeto é irrisório comparado ao custo do equipamento vib008, o qual custa aproximadamente trinta mil reais.

O nível de ruído presente nas medidas obtidas por esse equipamento foi superior ao esperado, e isso representa um maior erro nos resultados obtidos. Algumas alterações de baixo custo podem ser feitas para solucionar esse problema. A primeira delas é a utilização de um acelerômetro cujos valores de saída são digitais e não analógicos. Essa mudança tem impacto direto no desempenho e também no custo, ambos aumentam. O ruído proveniente do cabo é diretamente proporcional ao seu comprimento, portanto não fosse à inviabilidade operacional de se utilizar um cabo extremamente curto, a segunda opção viável para se reduzir o ruído é a utilização de filtros específicos para o cabo.

A frequência de operação do acelerômetro utilizado não atendeu o requisito de frequência para vibrações de mãos e braços estabelecidos pela norma ISO 8041. Para contornar o problema a solução é utilizar um acelerômetro, cuja frequência de operação seja igual ou superior à estipulada pela norma.

Vale lembrar que o resultado do presente projeto é um protótipo e é nessa etapa de desenvolvimento que se testam e validam os componentes a serem utilizados na versão final do produto. Acredita-se com investimento da ordem de um mil a um mil e quinhentos reais, em componentes mais precisos e de melhor qualidade, os resultados possam melhorar e se tornar satisfatórios.

## TRABALHOS FUTUROS

Muitas melhorias, excetuando-se as já mencionadas no capítulo anterior, podem ser feitas a esse projeto, tais como:

- Utilização de um display para configuração de parâmetros como, tempo de medição, data da medição, local da medição e horário de início e término de uma medição.
- Desenvolvimento de um software livre para visualização dos dados obtidos.
- Redução das dimensões do *case* que protege o acelerômetro

## REFERÊNCIAS

- ACGIH. **ACGIH - Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices**. [S.l: s.n.], 2010. p. 266
- ANDERS, B. W.; LANDSTRM, U.; GERMANY, W. Review article Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration : A review. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 14, p. 273-292, 1994.
- ASTRÖM, C.; REHN, B.; LUNDSTRÖM, R. *et al.* Hand-arm vibration syndrome (HAVS) and musculoskeletal symptoms in the neck and the upper limbs in professional drivers of terrain vehicles--a cross sectional study. **Applied ergonomics**, v. 37, n. 6, p. 793-9, nov 2006.
- BOSHUIZEN, H. C.; BONGERS, P. M.; HULSHOF, C. T. J. Back disorders and occupational exposure. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 6, n. 1, p. 55-59, 1990.
- BOVENZI, M. Medical aspects of the hand-arm vibration syndrome. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 6, p. 61-73, 1990.
- BOVENZI, M.; BETTA, A. Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole- body vibration and postural stress. v. 25, n. 4, p. 231-241, 1994.
- CHESTER, I. C.; KENT, P. J.; KESTER, R. C. The hand arm vibration syndrome : a review. **The International Society for Cardiovascular Surgery**, v. 6, n. 1, p. 1-9, 1998.
- CUNHA, I. DE Â. DA; GIAMPAOLI, E. **NHO 09: Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro**. . São Paulo: [s.n.], 2013a
- CUNHA, I. DE Â. DA; GIAMPAOLI, E. **NHO 10: Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços**. . São Paulo: [s.n.], 2013b
- EU GOOD PRACTICE GUIDE HAV. **Guide to good practice on Hand-Arm Vibration**. . [S.l: s.n.], 2006
- EU GOOD PRACTICE GUIDE WBV. **Guide to good practice on Whole-Body Vibration**. [S.l: s.n.], 2008. p. 1-65
- FREITAS FILHO, L. E.; MISAEL, M. R.; DUARTE, M. L. M. **Experimental evaluation of vibration comfort for a residential enviroment**. IMAC-XX: A Conference on Structural Dynamics. **Anais...** [S.l: s.n.], 2002
- GRIFFIN, M. J. **Handbook of Human Vibration**. ilustrada, ed. [S.l: s.n.], 1990. p. 988
- HARRIS, C.; PIERSOL, A.; PAEZ, T. Shock and Vibrations Handbook. **Shock and Vibrations Handbook**. Fourth Edi ed. [S.l.]: McGraw Hill Professional, 2009. p. 1168.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **Guide for evaluation of human exposure to hand-arm vibration**. [S.l: s.n.], 1979.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 2631-1**. [S.l: s.n.], 1997.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 8041:1990**. . [S.l: s.n.]. , 2002

LUNDSTRO, R.; LILJELIND, I.; JA, B. Variation in exposure to whole-body vibration for operators of forwarder vehicles — aspects on measurement strategies and prevention. v. 35, p. 831-842, 2005.

MCCANN, M. B.; MACCORMACK, D. H.; TELFORD, E. D. “Dead Hand” In users of vibrating tools. **The Lancet**, v. 246, n. 6369, p. 359-360, 1945.

OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. **Directive 2002/44/EC**. . Luxembourg: [s.n.]. , 2002

PASCHOLD, H. W.; SERGEEV, A. V. Whole-body vibration knowledge survey of U . S . occupational safety and health professionals. **Journal of Safety Research**, v. 40, n. 3, p. 171-176, 2009.

QASSEM, W.; OTHMAN, M. O. The effects of vertical and horizontal vibrations on the human body. v. 16, p. 151-161, 1993.

RAMAZZINI, B. **As doenças dos trabalhadores**. 2. ed. [S.l: s.n.], 1999. p. 269

SILVA, R. M. DA; BECK, J. C. P. **Introdução a engenharia das vibrações**. Porto Alegre: [s.n.], 2012. p. 602

WASSERMAN, D. E. Vibration exposure and prevention in the United States. **Nagoya J. Med. Sci.**, v. 57, p. 211-218, 1994.

**Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review**. . Luxembourg: [s.n.]. , 2008

## APÊNDICE

### APÊNDICE A – Exemplos de aplicação para vibração de mãos e braços e corpo inteiro

#### Vibração de mãos e braços

##### Exemplo 1

Em um dia de trabalho um trabalhador utiliza uma roçadeira por 5 horas e meia. A roçadeira expõe o trabalhador a uma vibração de  $4 \text{ m/s}^2$ . Qual é a exposição diária equivalente desse trabalhador a vibração, adotando  $T_0 = 8$ .

Solução:

Utilizando a equação 6 temos:

$$A(T_0) = A_{hv} \times \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

Do problema têm-se as seguintes informações:

$$T_0 = 8$$

$$A_{hv} = 4 \text{ m/s}^2$$

$$T = 5,5 \text{ horas}$$

Substituindo-se os valores acima na equação chega-se a:

$$A(8) = 4 \times \sqrt{\frac{5,5}{8}}$$

$$A(8) = 3,32 \text{ m/s}^2$$

Portanto a exposição diária do trabalhador normalizada para 8 horas é de  $3,32 \text{ m/s}^2$ . O valor obtido, de acordo com a Diretiva 2002/44/EC, não ultrapassa o limite de exposição, porém está acima de limite de ação.



## Exemplo 2

Um trabalhador de uma indústria manuseia quatro ferramentas diferentes ao longo de sua jornada de trabalho. As ferramentas não são utilizadas por um mesmo período de tempo e também não possuem os mesmos valores de vibração. Abaixo estão listadas as ferramentas utilizadas pelo trabalhador em questão.

Tabela 12 – Dados de vibração e período de uso das ferramentas

<b>Ferramenta</b>	<b>Vibração [<math>m/s^2</math>]</b>	<b>Tempo de uso [horas]</b>
Furadeira	15	1
Serra circular	6	2,5
Lixadeira	8	1,5
Retificadeira	5	0,5

Fonte: Autor, 2013

Solução:

O trabalhador utiliza diferentes ferramentas em sua jornada de trabalho, portanto, a exposição diária equivalente deve ser calculada individualmente para cada uma das ferramentas. Novamente com o auxílio da equação 6 temos e os dados da tabela temos:

Exposição diária para a ferramenta furadeira.

$$A^{furadeira}(T_0) = A_{hv}^{furadeira} \times \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A^{furadeira}(8) = 15 \times \sqrt{\frac{1}{8}} = 5,3 \text{ m/s}^2$$

Exposição diária para a serra circular.

$$A^{serra\ circular}(T_0) = A_{hv}^{serra\ circular} \times \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A^{serra\ circular}(8) = 6 \times \sqrt{\frac{2,5}{8}} = 3,35 \text{ m/s}^2$$

Exposição diária para a lixadeira.

$$A_{lixadeira}(T_0) = A_{hv}^{lixadeira} \times \sqrt{\frac{T}{T_0}} \qquad A_{lixadeira}(8) = 8 \times \sqrt{\frac{1,5}{8}} = 3,46 \text{ m/s}^2$$

Exposição diária para a retificadeira.

$$A_{retificadeira}(T_0) = A_{hv}^{retificadeira} \times \sqrt{\frac{T}{T_0}} \qquad A_{retificadeira}(8) = 8 \times \sqrt{\frac{0,5}{8}} = 2 \text{ m/s}^2$$

Uma vez calculados a exposição diária para cada um dos equipamentos, o próximo passo é calcular a exposição diária total.

$$A^{total}(8) = \sqrt{(A_{furadeira}(8))^2 + (A_{serra\ circular}(8))^2 + (A_{lixadeira}(8))^2 + (A_{retificadeira}(8))^2}$$

$$A^{total}(8) = \sqrt{(5,3)^2 + (3,35)^2 + (3,46)^2 + (2)^2}$$

$$A^{total}(8) = \sqrt{(5,3)^2 + (3,35)^2 + (3,46)^2 + (2)^2}$$

$$A^{total}(8) = 7,49 \text{ m/s}^2$$

A exposição diária total excedeu em  $2,5 \text{ m/s}^2$  o limite estipulado pela Diretiva 2002/44/EC.

## Vibração de corpo inteiro

### Exemplo 1

Um entregador de mercadorias de uma pequena empresa passa 2 horas por dia trabalhando em uma empilhadeira e outras 5 horas e meia dirigindo o caminhão de entregas. No último relatório de medição de vibração, apresentado pelo funcionário responsável constava os seguintes dados, Tabela 13. Qual a exposição diária a vibração desse trabalhador?

Tabela 13 – Dados de aceleração nos eixos X, Y e Z para um caminhão de entregas e uma empilhadeira

Caminhão de entregas			Empilhadeira		
Aceleração [ $m/s^2$ ]			Aceleração [ $m/s^2$ ]		
Eixo X	Eixo Y	Eixo Z	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z
0,2	0,1	0,35	0,6	0,4	1

Fonte: Autor, 2013

Solução:

Devido ao fato de o motorista estar exposto a mais de uma fonte de vibração, deve-se calcular a exposição diária para cada uma das fontes de vibração e para cada um dos eixos. Da equação 8 tem-se que a exposição diária para cada um dos eixos é:

$$A_x(T_0) = 1,4 \times A_{wx} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A_y(T_0) = 1,4 \times A_{wy} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A_z(T_0) = A_{wz} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

Cálculo da exposição diária para referente ao caminhão. Eixo X.

$$A_x^{\text{caminhão}}(T_0) = 1,4 \times A_{wx} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A_x^{\text{caminhão}}(8) = 1,4 \times 0,2 \sqrt{\frac{5,5}{8}} = 0,23 \text{ m/s}^2$$

Eixo Y.

$$A_y^{\text{caminhão}}(T_0) = 1,4 \times A_{wy} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A_y^{\text{caminhão}}(8) = 1,4 \times 0,1 \sqrt{\frac{5,5}{8}} = 0,12 \text{ m/s}^2$$

Eixo Z.

$$A_z^{\text{caminhão}}(T_0) = A_{wz} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A_z^{\text{caminhão}}(8) = 0,35 \times \sqrt{\frac{5,5}{8}} = 0,29 \text{ m/s}^2$$

Cálculo da exposição diária para referente à empilhadeira. Eixo X.

$$A_x^{empilhadeira}(T_0) = 1,4 \times A_{wx} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A_x^{empilhadeira}(8) = 1,4 \times 0,6 \sqrt{\frac{2,0}{8}} = 0,42 \text{ m/s}^2$$

Eixo Y

$$A_y^{empilhadeira}(T_0) = 1,4 \times A_{wy} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A_y^{empilhadeira}(8) = 1,4 \times 0,4 \sqrt{\frac{2,0}{8}} = 0,28 \text{ m/s}^2$$

Eixo Z

$$A_z^{empilhadeira}(T_0) = A_{wz} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad A_z^{empilhadeira}(8) = 1 \times \sqrt{\frac{2,0}{8}} = 0,5 \text{ m/s}^2$$

Obtidos os valores de exposição parcial para cada eixo e para cada equipamento, calcula-se então na próxima etapa a exposição diária total para cada um dos eixos. Para o eixo X tem-se:

$$A_x^{total} = \sqrt{\left(A_x^{caminhão}(8)\right)^2 + \left(A_x^{empilhadeira}(8)\right)^2}$$

$$A_x^{total} = \sqrt{(0,23)^2 + (0,42)^2}$$

$$A_x^{total} = 0,48 \text{ m/s}^2$$

Eixo Y

$$A_y^{total} = \sqrt{\left(A_y^{caminhão}(8)\right)^2 + \left(A_y^{empilhadeira}(8)\right)^2}$$

$$A_y^{total} = \sqrt{(0,12)^2 + (0,28)^2}$$

$$A_y^{total} = 0,30 \text{ m/s}^2$$

Eixo Z

$$A_z^{total} = \sqrt{\left(A_z^{caminhão}(8)\right)^2 + \left(A_z^{empilhadeira}(8)\right)^2}$$

$$A_z^{total} = \sqrt{(0,29)^2 + (0,5)^2}$$

$$A_z^{total} = 0,76 \text{ m/s}^2$$

Portanto o valor de exposição diária obtido é correspondente ao eixo Z:  $0,76 \text{ m/s}^2$  o que está acima do valor limite estipulado pela Diretiva 2002/44/EC.

## Exemplo 2

Um entregador de mercadorias de uma pequena empresa passa 2 horas por dia trabalhando em uma empilhadeira e outras 5 horas e meia dirigindo o caminhão de entregas. No último relatório de medição de vibração, apresentado pelo funcionário responsável constava os seguintes dados, Tabela 14. Os tempos de medição foram de 2 e 1 horas para o caminhão e empilhadeira respectivamente. Qual a dose diária de exposição à vibração (*VDV*) desse trabalhador?

Tabela 14 – Dados de aceleração nos eixos X, Y e Z para um caminhão de entregas e uma empilhadeira

Caminhão de entregas			Empilhadeira		
Aceleração [ $m/s^{1,75}$ ]			Aceleração [ $m/s^{1,75}$ ]		
Eixo X	Eixo Y	Eixo Z	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z
5,5	4,0	5	6,5	3,5	13

Fonte: Autor, 2013

Solução:

Devido ao fato de o motorista estar exposto a mais de uma fonte de vibração, deve-se calcular a exposição diária para cada uma das fontes de vibração e para cada um dos eixos. Com o auxílio da equação 3 calcula-se a dose diária para cada um dos eixos:

O valor da dose diária para o caminhão, para cada um dos eixos é:

Eixo X.

$$VDV_x^{camin.} = 1,4 \times VDV_x \times \sqrt[4]{\left(\frac{T_{exp}}{T_{medida}}\right)} \quad VDV_x^{camin.} = 1,4 \times 5,5 \times \sqrt[4]{\left(\frac{5,5}{2}\right)} = 9,9 \text{ m/s}^{1,75}$$

Eixo Y.

$$VDV_y^{camin.} = 1,4 \times VDV_y \times \sqrt[4]{\left(\frac{T_{exp}}{T_{medida}}\right)} \quad VDV_y^{camin.} = 1,4 \times 4,0 \times \sqrt[4]{\left(\frac{5,5}{2}\right)} = 7,2 \text{ m/s}^{1,75}$$

Eixo Z.

$$VDV_z^{camin.} = VDV_z \times \sqrt[4]{\left(\frac{T_{exp}}{T_{medida}}\right)} \quad VDV_z^{camin.} = 5,0 \times \sqrt[4]{\left(\frac{5,5}{2}\right)} = 6,4 \text{ m/s}^{1,75}$$

O valor da dose diária para a empilhadeira, para cada um dos eixos é:

Eixo X.

$$VDV_x^{emp.} = 1,4 \times VDV_x \times \sqrt[4]{\left(\frac{T_{exp}}{T_{medida}}\right)} \quad VDV_x^{emp.} = 1,4 \times 6,5 \times \sqrt[4]{\left(\frac{2}{1}\right)} = 10,8 \text{ m/s}^{1,75}$$

Eixo Y.

$$VDV_y^{emp.} = 1,4 \times VDV_y \times \sqrt[4]{\left(\frac{T_{exp}}{T_{medida}}\right)} \quad VDV_y^{emp.} = 1,4 \times 3,5 \times \sqrt[4]{\left(\frac{2}{1}\right)} = 5,8 \text{ m/s}^{1,75}$$

Eixo Z.

$$VDV_z^{emp.} = VDV_z \times \sqrt[4]{\left(\frac{T_{exp}}{T_{medida}}\right)} \quad VDV_z^{emp.} = 13,0 \times \sqrt[4]{\left(\frac{2}{1}\right)} = 15,5 \text{ m/s}^{1,75}$$

Calcula-se a exposição diária a vibração para cada um dos eixos com auxílio da equação 4.

Eixo X.

$$VDV_x^{total} = \sqrt[4]{(VDV_x^{caminhão})^4 + (VDV_x^{empilhadeira})^4}$$

$$VDV_x^{total} = \sqrt[4]{(9,9)^4 + (10,8)^4}$$

$$VDV_x^{total} = 12,3 \text{ m/s}^{1,75}$$

Eixo Y.

$$VDV_y^{total} = \sqrt[4]{(VDV_y^{caminhão})^4 + (VDV_y^{empilhadeira})^4}$$

$$VDV_y^{total} = \sqrt[4]{(7,2)^4 + (5,8)^4}$$

$$VDV_y^{total} = 7,9 \text{ m/s}^{1,75}$$

Eixo Z.

$$VDV_z^{total} = \sqrt[4]{(VDV_z^{caminhão})^4 + (VDV_z^{empilhadeira})^4}$$

$$VDV_z^{total} = \sqrt[4]{(6,4)^4 + (15,5)^4}$$

$$VDV_z^{total} = 15,6 \text{ m/s}^{1,75}$$

A exposição diária a vibração de corpo inteiro a qual esse trabalhador está submetido é corresponde ao maior valor de  $VDV$  obtido, portanto esse valor é de  $15,6 \text{ m/s}^{1,75}$ . O valor está abaixo do limite, porém está acima do limite fixado pela Diretiva 2002/44/EC.