



1

APRESENTAÇÃO

Chedas Sampaio
Situação actual: Escola Naval

- **Licenciatura Escola Naval**
 - **Marinha de Guerra**
 - **Draga-Minas Rosário**
 - **Fragata João Belo**
 - **Submarino Delfim**
 - **Direcção de Manutenção**
 - **Ensino Superior**
 - **Escola Náutica Infante D. Henrique**
- **Mestrado IST**
- **Doutoramento IST**
 - **ISEL**
 - **Escola Naval**

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

2

2

APRESENTAÇÃO

Home page:
<http://chedassampaio.net>

Canal Youtube:
<https://www.youtube.com/user/ruichedassampaio>

3

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

3

ESTRUTURA DA COMUNICAÇÃO

Motivação

Alguns contributos

Aplicações

4

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

4

MOTIVAÇÃO

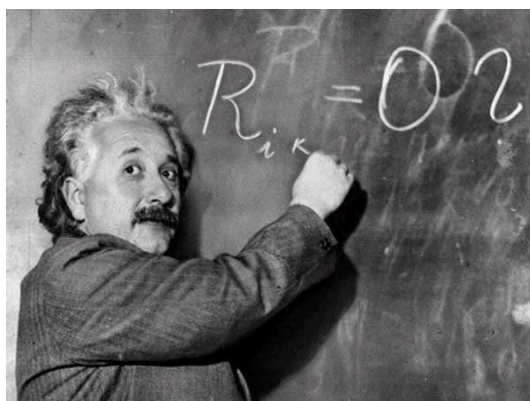
Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

5

5

MOTIVAÇÃO

Einstein



**"We have been all wrong! What we have called matter is energy,
whose vibration has been lowered as to be perceptible to the
senses. There is no matter."**

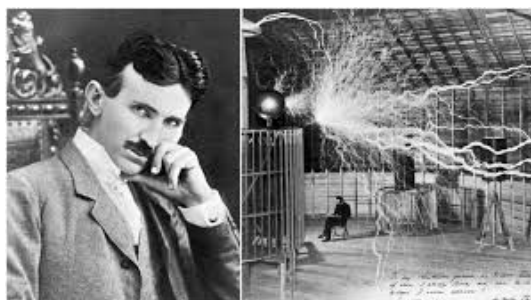
Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

6

6

MOTIVAÇÃO

Tesla



Nikola Tesla

“If you want to find the secrets of the universe, think in terms of
energy, frequency and vibration”

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

7

7

MOTIVAÇÃO

A vibração afecta a nossa vida



Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

8

8

MOTIVAÇÃO

A vibração afecta a nossa vida



Millennium bridge – Londres
(10 Jun 2000)



Tacoma Narrows bridge – USA
(7 Nov 1940)

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

9

9

MOTIVAÇÃO

A vibração afecta a nossa vida



1988- Aloha Airlines (fadiga de material)



2014 - Barragem do rio Columbia com fenda de 20 m



2007 – Porta-contentores MSC Napoli com fenda vertical a bombordo (fadiga)



2001 – Ponte Indice Ribeiro

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

10

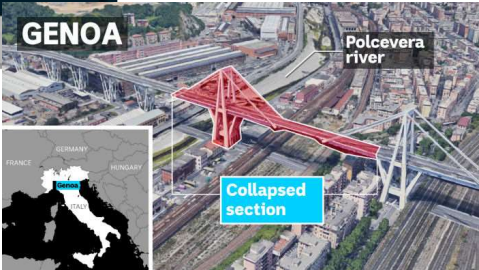
10

MOTIVAÇÃO

A vibração afecta a nossa vida

14 Ago 2018 - Ponte Morandi, Génova, Itália (construída em 1967)





[Listagem de colapsos de pontes](#)

11

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

11

MOTIVAÇÃO

A vibração afecta a nossa vida





12

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

12

MOTIVAÇÃO

A vibração afecta a nossa vida



Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

13

13

MOTIVAÇÃO

A vibração afecta a nossa vida



Perda da audição

Dilatação da pupila

Aumento da produção hormonal da tireóide

Aumento do ritmo de batimento cardíaco

Aumento da produção de adrenalina e corticotrofina

Contração do estômago e abdômen

Reação muscular

Contração de vasos sanguíneos

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

14

14

MOTIVAÇÃO

Controlo de vibrações



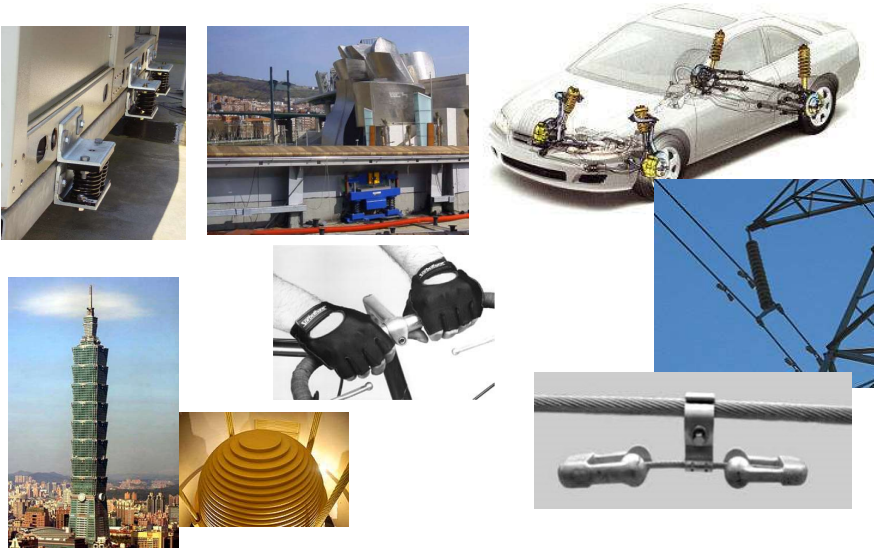
15

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

15

MOTIVAÇÃO

Controlo de vibrações



16

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

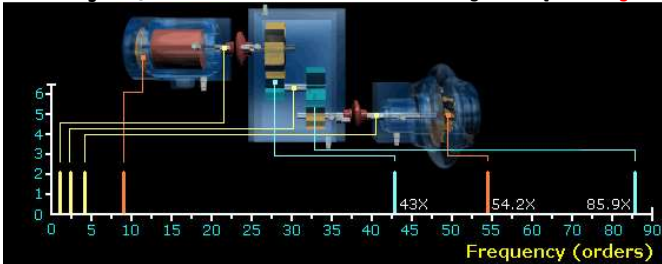
16

MOTIVAÇÃO

Controlo de vibrações

Identificação de dano em máquinas (Condition Monitoring)

A excitação/dano altera a VIBRAÇÃO (FORÇADA)



Frequência – indica o tipo de dano e/ou componente com dano

Amplitude – indica a gravidade do dano

Fase – permite distinguir danos com sintomas semelhantes

17

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

17

MOTIVAÇÃO

Controlo de vibrações

Identificação de dano em estruturas (Struct. Health Monit.)

O DANO ALTERA:

A rigidez



18

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

18

MOTIVAÇÃO

Controlo de vibrações

Identificação de dano em estruturas (Struct. Health Monit.)

O DANO ALTERA:

O amortecimento



Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

19

19

MOTIVAÇÃO

Controlo de vibrações

Identificação de dano em estruturas (Struct. Health Monit.)

O DANO ALTERA:

A massa



Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

20

20

MOTIVAÇÃO

Controlo de vibrações

Identificação de dano em estruturas (Struct. Health Monit.)

LOGO, TAMBÉM ALTERA A
VIBRAÇÃO
(LIVRE E FORÇADA)



Dano altera vibração_massa e mola.wm2d



Dano altera vibração_edifício 4 andares.wm2d

Identificação de dano: [WModel](#) e [MathCad](#)

Década de 70 – primeiras investigações na Indústria Aero-espacial e Petroquímica (plataformas offshore)

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

21

21

ALGUNS CONTRIBUTOS

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

22

22

ALGUNS CONTRIBUTOS

Ferramentas informáticas fundamentais

- ☐ Manipulação simbólica e cálculo: **MatLab, MathCad**
- ☐ Aquisição e processamento de sinal: **LabView**
- ☐ Simulação
 - Física: 2D (**Working Model, Algodoo**) 3D (**SolidWorks - Motion analysis**)
 - À medida
- ☐ Linguagem de programação: **MatLab, LabView, Java, Outsystems,...**
- ☐ Comunicação: ferramentas Google (**google sites, google drive, google forms, youtube,...**)

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

23

23

ALGUNS CONTRIBUTOS

Instrumentação

- ☐ Computadores, smartphones e minicomputadores (**Raspberry Pi e SBC**)
- ☐ Sensores e actuadores MEMS: **Phidgets**
- ☐ Placas de aquisição de sinal: **Phidgets**

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

24

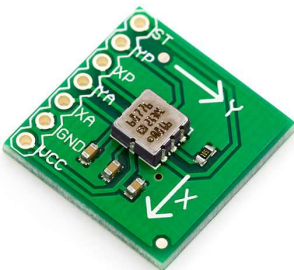
24

ALGUNS CONTRIBUTOS

Comparação acelerómetro piezoeléctrico - MEMS

Mede acelerações, estáticas ou dinâmicas. Sinal de saída em pC ou mV.

Tipos:



Acelerómetro piezoeléctrico (1950)



Acelerómetro MEMS (1979 – Univ Stanford USA)

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

25

25

ALGUNS CONTRIBUTOS

Comparação acelerómetro piezoeléctrico - MEMS

Acelerómetro piezoeléctrico



Utilização generalizada e bem aceite pela indústria
Banda de frequência útil 0.25 Hz – 20 kHz
Intervalo dinâmico grande
Compacto, variadas dimensões, desde 1 g
Resistente

Elevado custo (condicionamento e aquisição do sinal)

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

26

26

ALGUNS CONTRIBUTOS

Comparação acelerómetro piezoeléctrico - MEMS

Acelerómetro piezoeléctrico

Fabricantes

- Bruel and Kjaer 1942**
- Kistler Instruments (SLW) 1943 (Buffalo, NY) 1954**
- Gulton Manufacturing Company (aprox) 1944**
- Endevco 1947**
- Columbia Research Laboratories 1955**
- Wilcoxon Research 1960**
- PCB Piezotronics 1967**
- Dytran 1980**

27

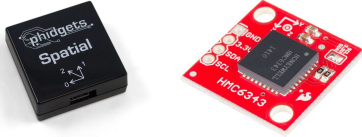
Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

27

ALGUNS CONTRIBUTOS

Comparação acelerómetro piezoeléctrico - MEMS

Acelerómetro MEMS



- Reduzida dimensão**
- Reduzido peso**
- Desempenho nas baixas frequências**
- Baixo custo (<10% acelerómetro piezoeléctrico)**
- Condicionamento e aquisição de sinal integrado no sensor**
- Integração com outros sensores**
- Frequência máxima não tão elevada como o piezoeléctrico**

28

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

28

ALGUNS CONTRIBUTOS

Comparação acelerómetro piezoeléctrico - MEMS

Acelerómetro MEMS

Fabricantes

Analog Device
Silicon Designs
Phidgets
Endevco
Motorola

Comprar on-line

<http://www.digikey.com>
<http://www.phidgets.com>

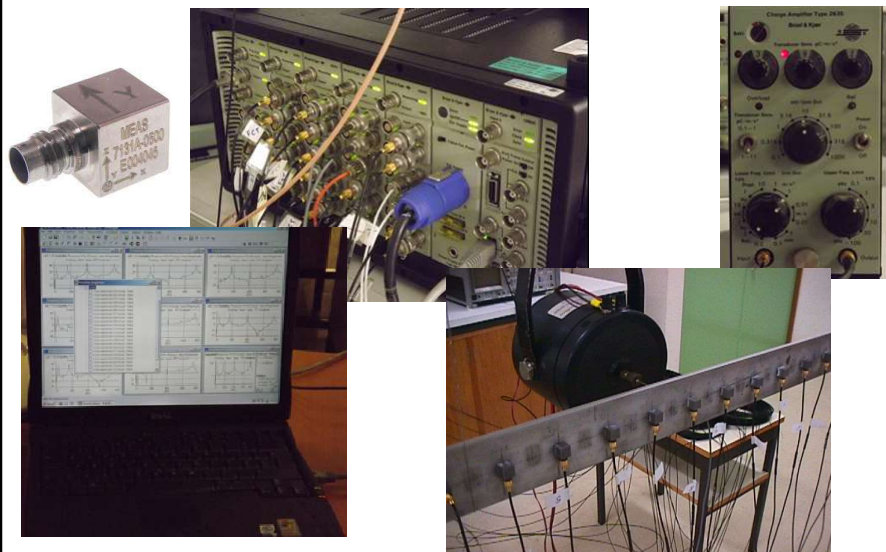
Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

29

29

ALGUNS CONTRIBUTOS

Medir com Pulse (Brüel&Kjaer) e acels piezoeléct.



Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

30

30

ALGUNS CONTRIBUTOS

Medir com LabView e com tecnologia MEMS USB



The screenshot shows a video player window titled 'MedirTemperaturaLabViewPhidgets.wmv - VLC media player'. The video content displays three items: a white USB cable labeled 'cabo usb', a small circuit board labeled 'Phidget temperature sensor 4 input 1048', and a blue coiled cable labeled 'Phidget termopar 3107'.

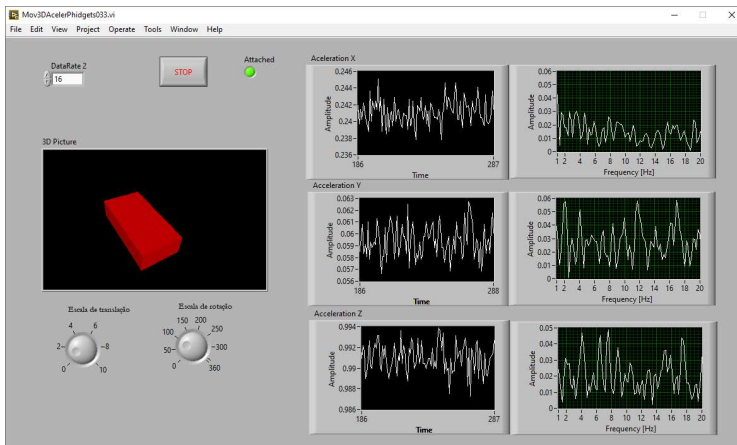
Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

31

ALGUNS CONTRIBUTOS

Medir com LabView e com tecnologia MEMS USB

Medir vibração em translação e rotação



The screenshot shows a LabView interface titled 'Meu3DAccelerPhidget033.vi'. On the left, there are controls for 'DataRate Z' (set to 15), a 'STOP' button, an 'Attached' indicator, a '3D Picture' of a red rectangular block, and two rotation controls labeled 'Eixo de translação' and 'Eixo de rotação'. On the right, there are six graphs arranged in a 3x2 grid. The left column shows 'Acceleration X', 'Acceleration Y', and 'Acceleration Z' over 'Time'. The right column shows the same acceleration components over 'Frequency [Hz]'. Each graph has 'Amplitude' on the y-axis.

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

32

ALGUNS CONTRIBUTOS

Medir com LabView e com tecnologia MEMS USB

Identificação de frequências naturais, modos e deformadas



Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

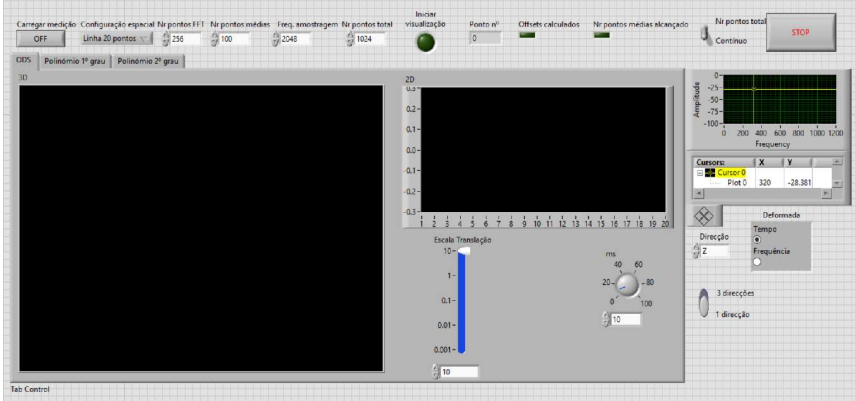
33

33

ALGUNS CONTRIBUTOS

Medir com LabView e com tecnologia MEMS USB

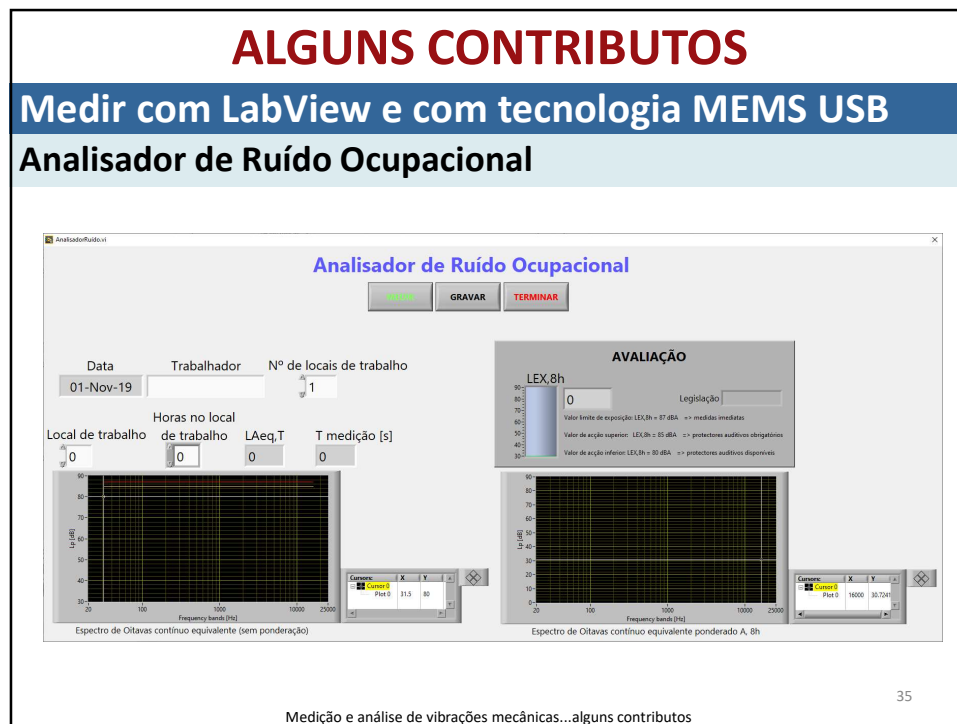
Identificação de frequências naturais, modos e deformadas



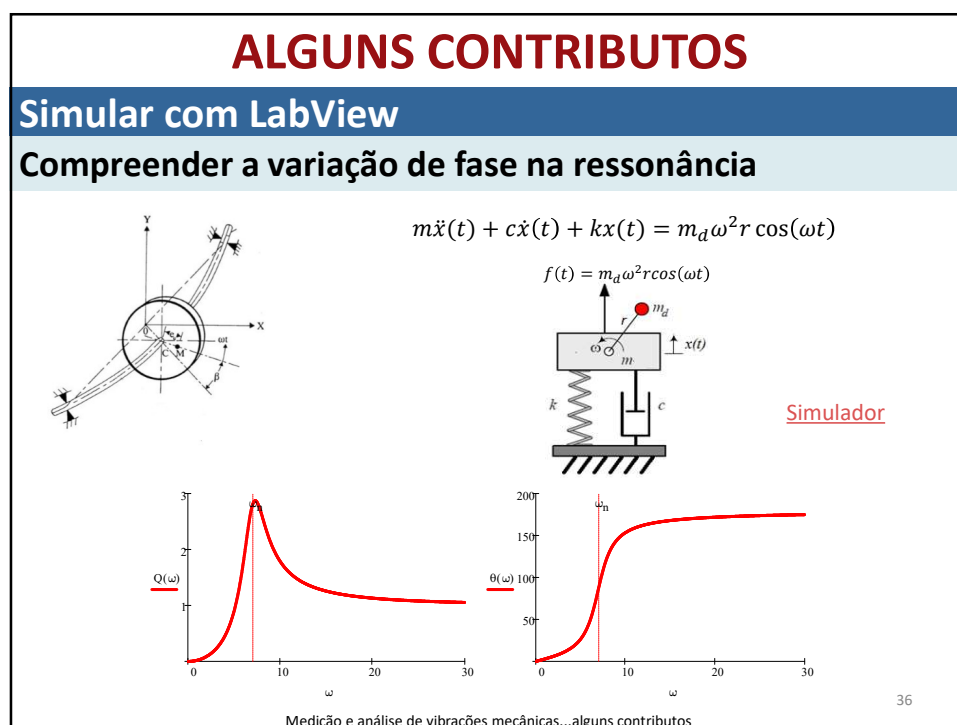
Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

34

34



35



36

ALGUNS CONTRIBUTOS

Simular com LabView

Compreender a equilibragem de rotores rígidos

**Maintenance for a De-watering Pump Impeller
for a Submarine Dry Dock at Pearl Harbor**



koffler.com info@koffler.com 510-567-0630 © 2012

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

37

37

ALGUNS CONTRIBUTOS

Simular com LabView

Compreender a equilibragem de rotores rígidos

EquiRig.vi

EquiRig
v2
Equilibragem de rotores rígidos
(ISO 1940)



REAL SIMULADO
1 plano 1 plano
2 planos 2 planos
STOP

Chedas Sampaio
Escola Naval/CINAV
2017-2018

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

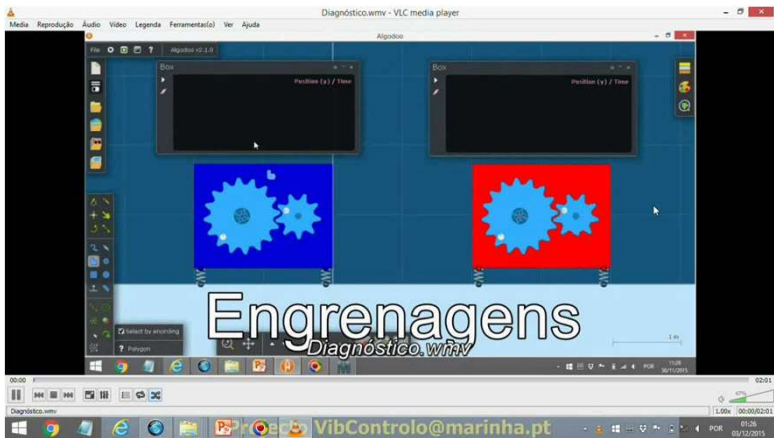
38

38

ALGUNS CONTRIBUTOS

Simular com Working Model e MathCad

Compreender o controlo de condição de máquinas



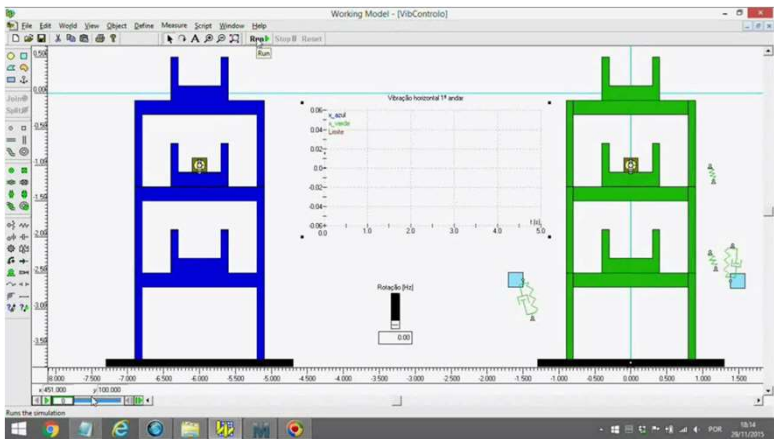
Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

39

ALGUNS CONTRIBUTOS

Simular com Working Model e MathCad

Compreender o controlo de vibrações em estruturas



Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

40

APLICAÇÕES

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

41

41

APLICAÇÕES

Ensino

Autonomia no ensino (professor)

Autonomia no estudo e no trabalho (aluno)

Equilíbrio na relação teoria versus prática

Ênfase nas competências e na sequência:

- **Seleccionar (ferramentas computacionais)**
- **Programar (sistema de aquisição)**
- **Modelar...Validar**
- **Simular...Validar**
- **Medir...Validar**

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

42

42

APLICAÇÕES

Ensino



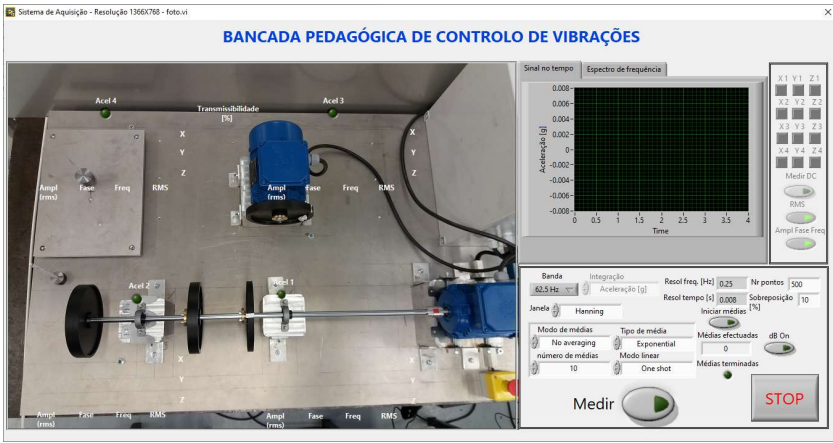
Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

43

43

APLICAÇÕES

Ensino



Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

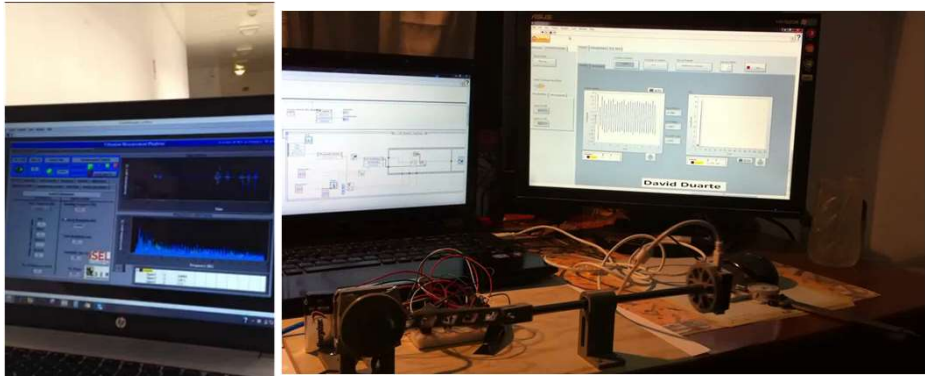
44

44

APLICAÇÕES

Ensino

Autonomia do aluno



- cada aluno tem um laboratório portátil pessoal,
- cada aluno constrói o seu laboratório,
- o aluno trabalha ao seu ritmo,
- o aluno é autónomo

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

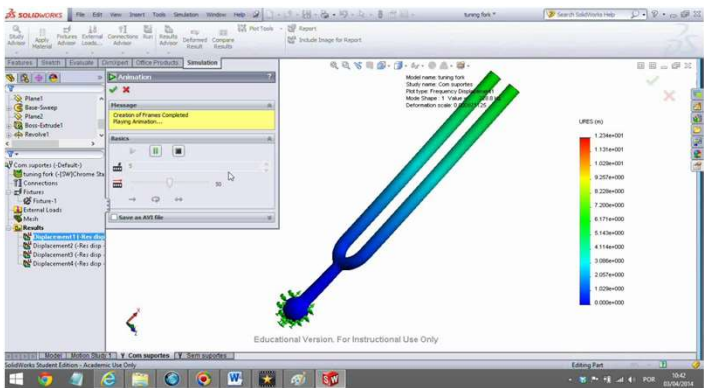
45

45

APLICAÇÕES

Ensino

Autonomia do professor



- o professor prepara as suas experiências e demonstrações práticas,
- muita da teoria pode ser confrontada em tempo real com a demonstração prática,
- o professor tem um laboratório virtual ao seu dispor

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

46

46

APLICAÇÕES

Indústria - Biotecnologia

Projecto: adequação da unidade de produção ao mercado e à internacionalização



Situação inicial



Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

47

47

APLICAÇÕES

Indústria - Biotecnologia

Projecto: adequação da unidade de produção ao mercado e à internacionalização

Desenvolvimento de *shaker*



Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

48

48

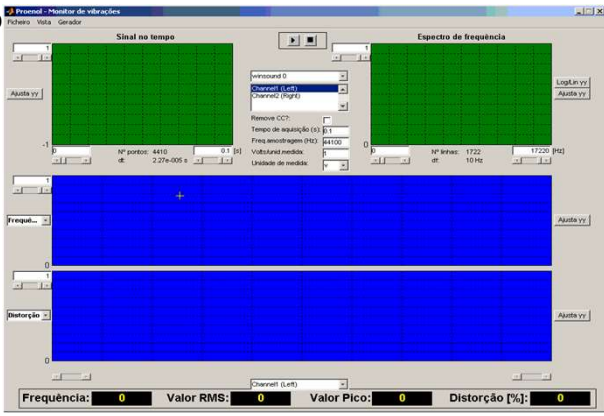
APLICAÇÕES

Indústria - Biotecnologia

Projecto: adequação da unidade de produção ao mercado e à internacionalização

Controlo de qualidade do produto por medição de vibrações

Acelerómetro piezoeléctrico
+
Amplificador de carga
+
Computador (placa de som e MatLab)



The screenshot shows a software interface with two main plots: 'Sinal no tempo' (Time Domain) and 'Espectro de frequência' (Frequency Spectrum). The time domain plot shows a green waveform. The frequency spectrum plot shows a blue waveform. Below the plots, there are various parameters and controls, including 'Frequência', 'Valor RMS', 'Valor Pico', and 'Distorção (%)'. The interface also includes a 'LogIn' button and a 'Ajuda' (Help) button.

49

49

APLICAÇÕES

Indústria - Biotecnologia

Projecto: adequação da unidade de produção ao mercado e à internacionalização

Situação final



The photograph shows a laboratory setting with several people in white lab coats and blue hairnets. They are working with a piece of equipment that appears to be a vibration shaker or a similar testing device. The equipment is mounted on a table, and there are various cables and sensors connected to it. The people are looking at the equipment and talking to each other, suggesting a collaborative work environment.

50

50

APLICAÇÕES

Indústria - Metalomecânica

Avaliação da probabilidade de ocorrência de dano estrutural em edifício industrial por efeito de solicitação dinâmica impulsiva

NP 2074 2014 - Avaliação da influência de vibrações impulsivas em estruturas

$$V_{máx} = \sqrt{v_L^2(t) + v_V^2(t) + v_T^2(t)}$$

Tipo de estruturas	Frequência dominante, f		
	f ≤ 10 Hz	10 Hz < f ≤ 40 Hz	f > 40 Hz
Sensíveis	1,5	3,0	6,0
Correntes	3,0	6,0	12,0
Reforçadas	6,0	12,0	40,0

Valores limite recomendados para a velocidade de vibração (de pico), em mm/s

51

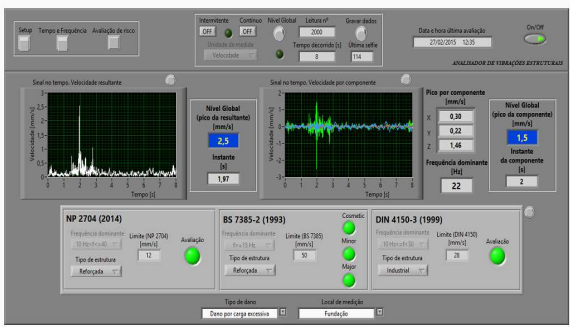
Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

51

APLICAÇÕES

Indústria - Metalomecânica

Avaliação da probabilidade de ocorrência de dano estrutural em edifício industrial por efeito de solicitação dinâmica impulsiva



**Acelerómetro MEMS e
aplicação LabView**

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos



52

52

APLICAÇÕES

Marinha de Guerra

Analizador de vibrações baseado em smartphone e acelerómetro MEMS



Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

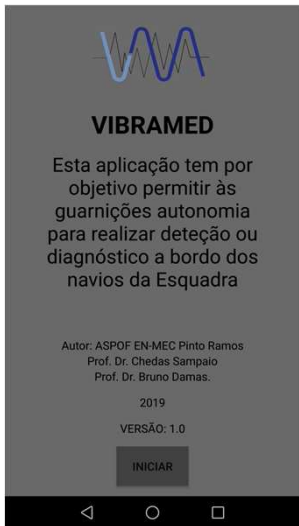
53

53

APLICAÇÕES

Marinha de Guerra

Analizador de vibrações baseado em smartphone e acelerómetro MEMS



VIBRAMED

Esta aplicação tem por objetivo permitir às guarnições autonomia para realizar deteção ou diagnóstico a bordo dos navios da Esquadra

Autor: ASPOF EN-MEC Pinto Ramos
Prof. Dr. Chedas Sampaio
Prof. Dr. Bruno Damas.
2019
VERSÃO: 1.0
INICIAR

DETECÇÃO
ISO 10816 e DNV-GL RU-SHIPS Pt.6 Ch.8
e
DIAGNÓSTICO

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

54

54

FIM

Medição e análise de vibrações mecânicas...alguns contributos

55

55