



COBENGE 2005

XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia

"Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças"

12 a 15 de setembro - Campina Grande Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFPG-UFPE

DESENVOLVIMENTO DE UM LABORATÓRIO DIDÁTICO PROFISSIONAL DE BAIXO CUSTO PARA PRÁTICAS DE ANÁLISE VIBRATÓRIA.

Fábio R – raia@mackenzie.com.br

Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade
Presbiteriana Mackenzie.

Rua da Consolação nº 896

CEP-01302-907 - S. Paulo – SP.

Antonio G. M – mellojr@mackenzie.com.br

Resumo: *Considerando que o projeto pedagógico da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie enfatiza a preocupação em fornecer ao mercado de trabalho um profissional qualificado com uma bagagem científica e tecnológica adequada ao seu tempo, não obstante, aos laboratórios já existentes a criação do laboratório de Mecânica Vibratória vem de encontro com a proposta pedagógica e pode ser considerado como um ponto ideal na busca do meio termo entre custo e benefício, tendo em vista que esse tipo de laboratório vem a possuir um custo alto de aquisição e manutenção. O desenvolvimento teve como objetivo as possíveis práticas a serem oferecidas, possuir características modulares, servir, ainda, como equipamento de pesquisa para trabalhos de iniciação científica na área de vibrações e não possuir custo proibitivo. As características modulares têm como hipótese mostrar ao estudante como estão distribuídos as várias partes de um equipamento de medições dinâmicas e, se de um lado, a modularidade, flexibiliza as alterações de parâmetros do experimento do outro prejudica o trabalho em campo. A modularidade então, tem um aspecto importante, pois ajuda o aluno visualizar como fica a disposição dos equipamentos que compõem um sistema para análise de medidas de vibrações em sistemas mecânicos. Pensando dessa forma tendo em mente uma relação aceitável do custo benefício, o sistema foi composto por um amplificador de sinais, um excitador eletrodinâmico (shaker), um condicionador de sinais, uma placa de aquisição de sinais, um software genérico, acelerômetro e um computador pessoal.*

Palavras chave: Custo, Laboratório didático, Vibrações, Aquisição de dados, LabVIEW

1. Introdução.

A Mecânica vibratória, apesar de possuir um extenso fundamento teórico (GROEHS, 1999), tem a excelência de ser uma ciência experimental abrangendo vários campos que vão desde a análise modal, passando pela manutenção na análise de máquinas até estudos de integridade estrutural. Sob esse aspecto é que a implantação de um laboratório para a análise de vibrações, com características acadêmicas justifica-se e apóia-se sobre o trinômio: teórico-

prático-profissional. Porém, verifica-se que o mercado não disponibiliza um equipamento que preencha essa necessidade, e isso implica em uma implementação que deve ser baseada em equipamentos profissionais, que pode acarretar disponibilizar um montante de dinheiro nem sempre disponível pela instituição. Em nosso caso a forma encontrada para suprir essa dificuldade, tanto prática quanto financeira, foi executar a construção de um equipamento formado por partes independentes, interligadas e gerenciado por um software de controle. A escolha de cada parte foi baseada em dois aspectos: preço e qualidade. O gerenciamento do sistema é realizado através da linguagem de programação LabVIEW (BISHOP, 2001), cuja licença já existia na Escola de Engenharia. A aquisição de dados é feita por uma placa de aquisição de barramento PCMCIA *Personal Computer Memory Card International Association*, o condicionamento de sinais é realizado por módulos independentes fixados propriamente em um hardware, que tem a função de enviar os sinais para o processamento. O sistema possui ainda um gerador de sinais, um amplificador de potência, um excitador eletrodinâmico e acelerômetros. O sistema, depois de montado e experimentado, apresentou rendimento esperado, semelhante aos coletores e analisadores profissionais com uma relação custo benefício favorável.

2. Justificativa

O estudo e análise das vibrações mecânicas na formação do engenheiro são de importância fundamental pois, tanto no projeto, na manutenção, na execução ou na pesquisa o comportamento dinâmico do sistema ou estrutura, no que se refere às vibrações mecânicas é um ponto decisivo entre o sucesso e o fracasso do projeto. Logo o conhecimento ou controle do comportamento vibracional tanto teórico quanto prático de um sistema dará ao engenheiro o rumo adequado na condução e execução de um projeto.

Essa percepção pode ser fornecida ao estudante de várias formas, uma delas é mostrar, na prática, conceitos fundamentais como: frequência natural, modos de vibração, graus de liberdade e isso pode ser conseguido rapidamente levando o aluno ao laboratório e simulando, através de um sistema de malha fechada, a excitação, aquisição e verificando a interpretação da resposta dinâmica fornecida pela estrutura. A visualização desses conceitos adquire uma nova forma de encarar os procedimentos teóricos.

Dessa forma o Laboratório de Vibrações Mecânicas cumpre a missão de realizar o elo de ligação entre teoria e prática e complementar o aprendizado, pois apresenta ao aluno uma tecnologia moderna, que permite a verificação e comparação de resultados obtidos teoricamente com resultados experimentais.

3. Análise de Vibrações

A vibração é a oscilação de um corpo em relação a uma posição de referência (DIMAROGONAS, 1996), pode-se dizer que é um fenômeno verificado ou experimentado no cotidiano. O movimento de vibração é a resposta de um sistema às forças dinâmicas que o excitam ou o auto excitam. A análise de vibrações, dentro de um processo, tem como principal objetivo identificar padrões que possam revelar as características ou o comportamento do sistema, ou processo quando submetidos a essas forças.

Na fase de projeto, basicamente, busca-se eliminar as possibilidades de um sistema oscilar perto das suas frequências naturais, ou ainda entender o comportamento dinâmico mediante a excitações controladas. Por outro lado, a análise de vibrações presta um serviço importante na área da manutenção informando ou predizendo o comportamento vibracional de uma máquina ou um processo (INMAN, 1996).

3.1 Laboratório de Vibrações Mecânicas

O laboratório de vibrações da Escola de Engenharia é utilizado atualmente na sétima etapa do curso de Engenharia Mecânica como aula prática da disciplina Mecânica Vibratória e conta com uma estrutura, onde é possível mostrar: como são colhidos sinais dinâmicos de uma estrutura ou sistema, como pode ser feita excitação de uma estrutura ou sistema e como é realizada uma leitura e como pode ser feita a interpretação de um sinal vibratório através de uma visualização gráfica.

Todo o material é acondicionado em um armário, a Figura 1 mostra tal disposição, dotado de rodízios que permite o deslocamento de todo sistema pelo laboratório ou, ainda, o deslocamento para aulas de demonstração. Existem duas opções na composição do sistema de análise, utilizando-se um notebook como gerenciador de todo processo ou utilizando-se um computador tipo desk-top*, nesse caso será necessário uma placa adaptadora para compatibilizar os barramentos PCI *Peripheral Component Interconnect* e PCMCIA** (BEYON, 2001)



Figura 1 opções de trabalho com um notebook ou desk top e material acondicionado no armário de transporte

* O computador Desk-top é dotado de uma placa adaptadora do tipo PCI para PCMCIA para permitir o uso da placa de aquisição.

** A placa de aquisição é do tipo PCMCIA e foi escolhida de modo a permitir que o sistema possa ser utilizado em computadores do tipo desk-top ou notebook, nesse caso para dar flexibilidade no uso do equipamento em situações externas.

3.2. Equipamentos do Laboratório

A escolha dos equipamentos para formar o sistema de análise vibratória baseou-se sobre o custo e a qualidade. Para tanto foi realizada uma pesquisa entre vários fabricantes de equipamentos e optou-se então pelos seguintes equipamentos:

- Amplificador de Sinais - LabWorks modelo PA-138-1 (LabWorks, 02).
- Excitador eletrodinâmico (Shaker) - LabWorks modelo ET-132. (LabWorks, 02)
- Acelerômetro PCB PIEZOTRONICS modelo 353B03 (PCB, 02).
- Condicionador de Sinais - National modelo SC-2345 com módulos SCC-ICP01. (acelerômetro) e SCC-FT01 (NATIONAL, 02).
- Placa de aquisição de dados National modelo DAQ-6924E** (NATIONAL, 02).
- Software para Análise - National LabView 5.1 (NATIONAL, 02).
- Fonte de alimentação de uso geral para o condicionador SC2345 com as seguintes tensões: -15,0V +15,0V +5,0V .
- Computador Pentium 166 com 128 K de RAM, dotado de uma placa adaptadora PCMCIA para PCI.
- Software para geração de sinais, Esse software foi necessário pois, apesar da placa de aquisição possuir saída analógica, não possui memória suficiente para manter um sinal constante e coerente para o amplificador e ao mesmo tempo fazer aquisição. (TEST TONE, 02).

3.3 Práticas do Laboratório de Mecânica Vibratória

Novas práticas estão sendo desenvolvidas dentro do programa de Trabalhos de graduação Interdisciplinar (T.G.I). Porém, atualmente três práticas são realizadas: Manipulação e técnicas de colocação do acelerômetro em estruturas, estudo das partes de um sistema de análise vibratória e interpretação básica de sinais vibratórios em máquinas operatrizes.

Para ser feita a verificação e visualização da resposta temporal e em frequência do sinal vibratório foi desenvolvido um programa em linguagem de programação LabVIEW. A opção para utilizar esse software é que, além de existir uma licença disponível na Escola de Engenharia, permite flexibilidade e grande precisão na elaboração das aplicações que são conhecidas como V.I. *virtual instrument*.

3.4 Características do Equipamento de Análise de Vibrações

As principais características do equipamento são: possuir modularidade, cuja essência é deixar exposta cada parte do sistema de análise, poder visualizar o sinal resposta no tempo e na frequência, permitir mudanças no número e nas frequências de amostragem, aplicar filtros e janelas ao sinal analisado, mudar escalas, aplicar zoom, visualizar amplitude de pico e valor RMS *root meam square*.

A apresentação dessas características tem como meta expor ao aluno como é composto um sistema de análise de vibrações pois, tal disposição, não é visível nos analisadores comerciais compactos. As características e recursos do sistema podem ser observados na Figura 1, página seguinte.

Outras facilidades para a análise podem ser implementadas caso sejam necessárias. Por exemplo: a análise de vibrações pelo método de Envelope, PeakVue™, Cesptrum e outras utilizadas nos coletores de sinais de vibração comerciais.

A geração do sinal de excitação é feita através do software tipo shareware Test Tone Generator 3.62 e pode ser encontrado na Internet.

3.5 Descrição do fluxo de sinais em um ensaio de vibração

O fluxo de sinais é mostrado esquematicamente na Figura 2. Inicialmente, por meio do software labVIEW, aciona-se a V.I desenvolvida para a análise que, imediatamente, procura a placa de aquisição de dados e, por sua vez, busca um sinal vindo do condicionador de sinais. O sinal de excitação gerado pelo software Test Tone Generator 3.62 é enviado para o meio externo via placa de som do computador. Esta envia o sinal para o amplificador de sinais que envia o sinal amplificado para o excitador (*shaker*) este então realiza a transmissão de energia para a estrutura. Um acelerômetro capta a resposta da estrutura e envia para o condicionador de sinais. Um computador gerencia todo processo de geração, controle e visualização do sinal. A visualização do sinal extraído da estrutura pode ser visto e analisado na tela de apresentação, Figura 3.

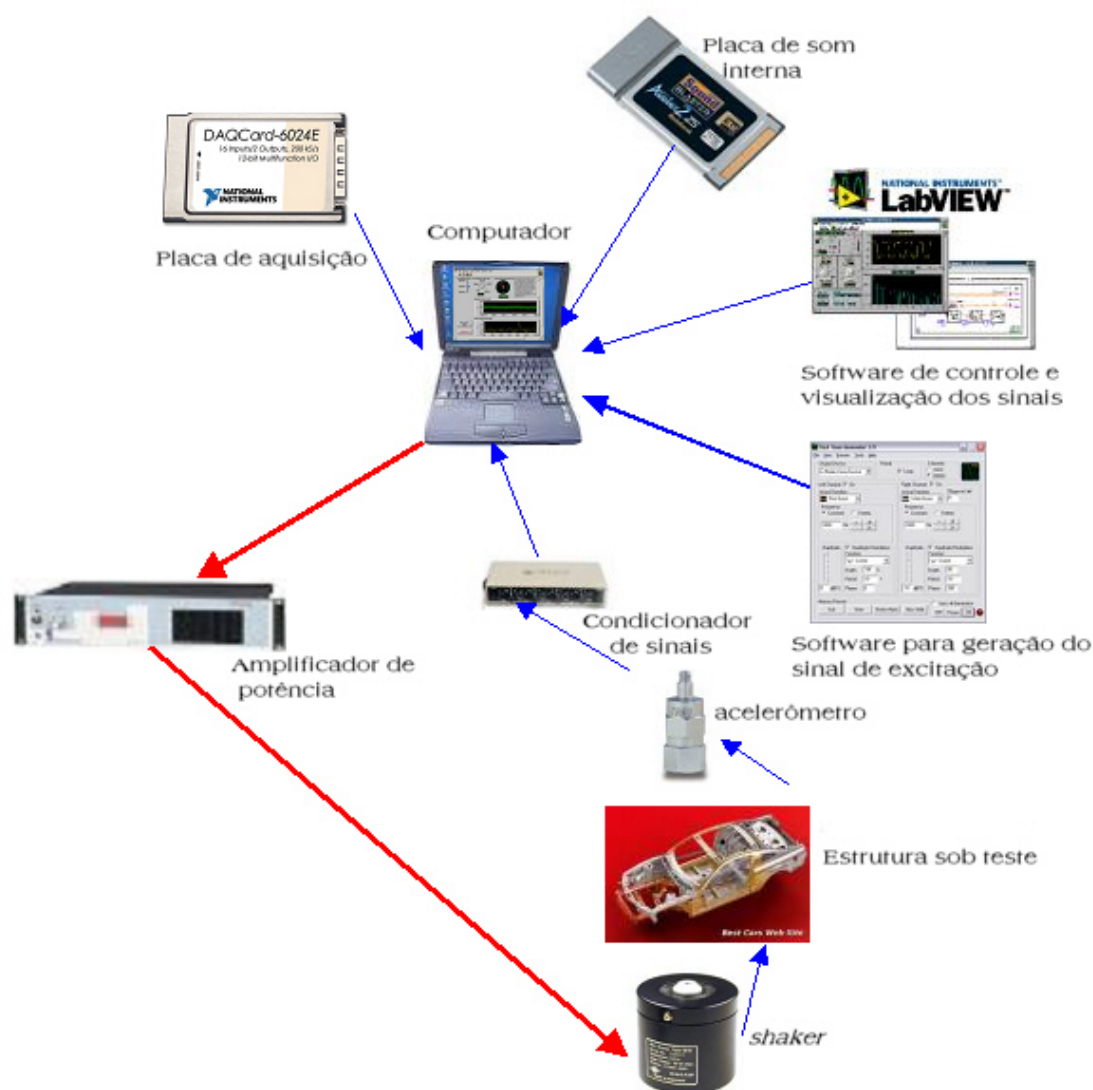


Figura 2 Descrição do fluxo de sinais no sistema desenvolvido

O sinal poderá ser observado no tempo ou na frequência. Essa duplicidade, para a representação da resposta da estrutura, tem como objetivo ajudar o aluno a diferenciar as duas formas de representação do mesmo fenômeno. Porém, a representação em frequência, em

detrimento a outra, permite analisar a resposta da estrutura, com maior precisão permitindo melhor compreensão do comportamento dinâmico da estrutura sob teste.

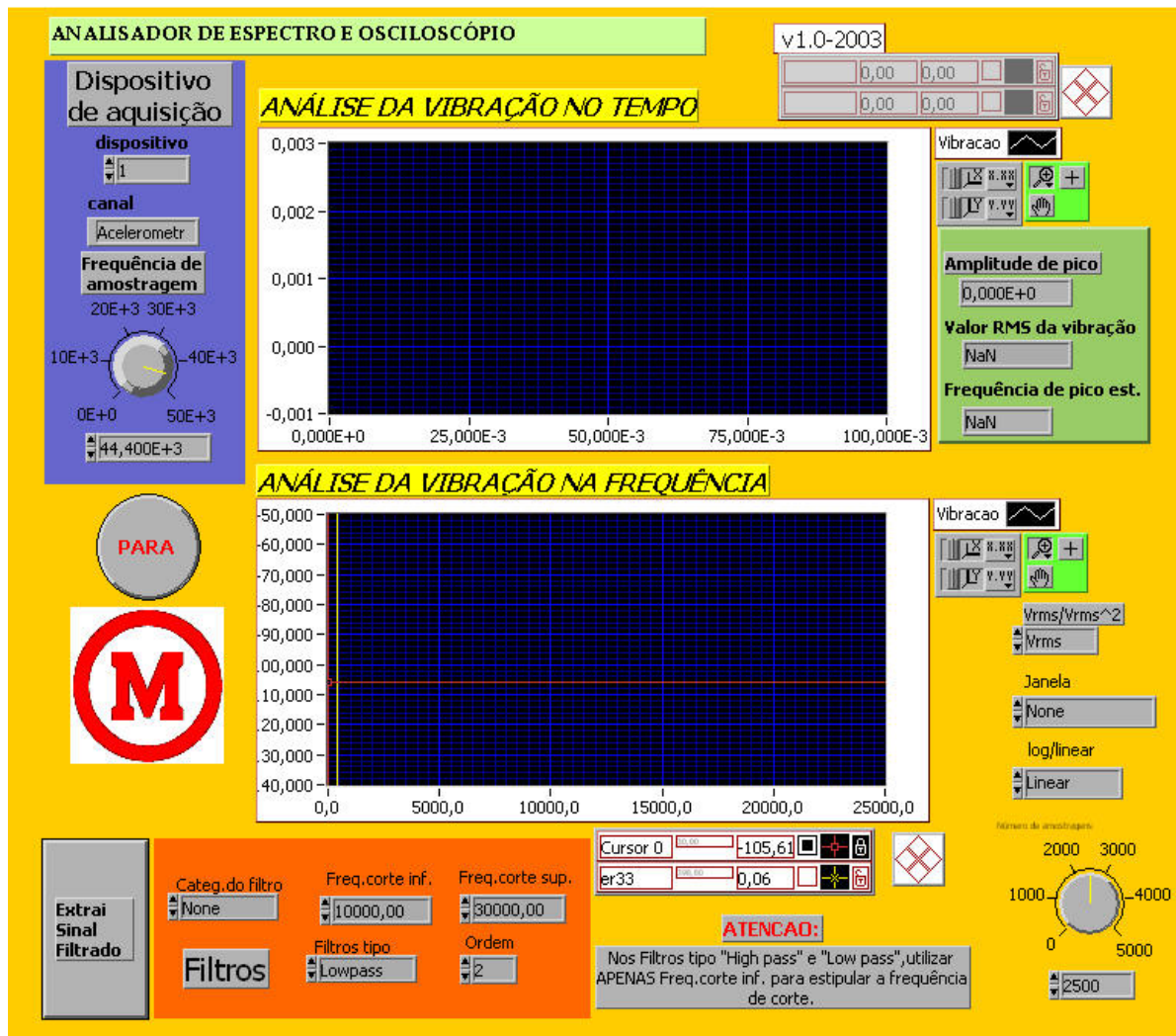


Figura 3 Tela de apresentação para a visualização de sinais na análise de vibração

4. Custos dos equipamentos do laboratório de Análise de Vibrações

Tomando como base, equipamentos da Bruel & Kjaer (ANGELO, 1987), a título de comparação com o sistema desenvolvido, a Tabela 1 mostra a relação de preços entre os equipamentos. Esse custo não inclui cabos, sensores, biblioteca com informações e softwares específicos. Pode-se observar, pela Tabela 1, que o custo final, caso fosse desenvolvido um sistema com equipamentos da Bruel seria proibitivo.

Compreende-se mas não justifica-se que, talvez devido a isso muitas escolas de engenharia não incluem no currículo, do curso de Mecânica, aulas práticas sobre vibrações mecânicas.

Tabela 1 Cotação comparativa entre custo do sistema desenvolvido e custo de um sistema semelhante se fosse desenvolvido com equipamentos da Bruel & Kjaer.

Equipamentos do Laboratório	Preço individual	Equipamentos Bruel Kjaer	Preço individual
Amplificador de Sinais - LabWorks modelo PA-138-1	1,795.00 U\$	Amplificador de sinais modelo: 2732	3,400.00 U\$
Excitador eletrodinâmico LabWorks modelo ET-132	1,015.00 U\$	Excitador eletrodinâmico modelo: 4810	2,100.00 U\$
Acelerômetro PCB PIEZOTRONICS modelo 353B03	162.00 U\$	Acelerômetro Modelo:4513	600.00 U\$
Condicionador de Sinais - National modelo SC-2345 com módulos SCC-ICP01 (acelerômetro) e SCC-FT01	590.00 U\$	Analizador de espectro modelo 3560BTO1	19,00.00 U\$
Placa de aquisição de dados National modelo DAQ-6024E*	688.50 U\$	-----	-----
Software gerador de sinais Test Tone Generator 3.62	20.00 U\$	-----	-----
TOTAL	4,270.50 U\$. fob	TOTAL	25,100.00 U\$ fob

Caso a opção em desenvolver um laboratório de vibrações mecânicas viesse a recair sobre os coletores portáteis, utilizados para realizar monitoração em campo, o custo seria da mesma ordem de grandeza, ou seja, mesmo assim seria inviável o desenvolvimento de um laboratório com esse tipo de equipamento. Isso pode ser observado na Tabela 2 que indica os valores dos coletores mais comuns no mercado. Mesmo os fabricantes possuem preços diferenciados para instituições de ensino e mesmo disponibilizando várias facilidades e recursos tais como: Filtros em oitavas, anti-aliasing. Janelas Hanning, uniform. Análise em PeakVue, envelope e outros. O custo de um equipamento desse tipo estaria muito acima daquele conseguido. Lembrando que muitos recursos podem ser implementados, bastando para isso modificar ou criar novas V.Is.

Tabela 2 Valor médio dos custos de coletores de dados comerciais.

CSI – Emerson	30,000 U\$
SKF- Microlog	30,000U\$
Bruel - Shenk	30,000 U\$
Comtest	20,000U\$

5. Considerações Finais

Mesmo com um orçamento pequeno, foi possível desenvolver um equipamento com recursos suficientes, para mostrar ao estudante procedimentos profissionais para a realização de uma análise de vibrações. Em comparação com os equipamentos produzidos em série, a relação custo benefício, propiciou um ganho para o estudante pois, trouxe uma nova forma de encarar uma disciplina tão importante na sua formação. A modularidade, como foi demonstrado, agrada os estudantes, pois foi observado, durante as aulas, alusão à prática e teoria no momento das demonstrações, indicando e comentando a função de cada equipamento individualmente. Por outro lado a instituição teve uma economia de aproximadamente 20,000.00 U\$.

Agradecimentos

A direção da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, na pessoa do Prof. Dr. Roque Theofilo Junior
Ao Departamento de Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, na pessoa do Prof. MSc. Antonio Gonçalves de Mello Junior
A Profa. Dra. Vicene Alonso Rodrigues
Ao jovem Engenheiro Renato Garzillo, pela dedicação e cooperação

6. Referências Bibliográficas

- ANGELO, M. **Vibration Monitoring of Machines, Bruel &Kjaer Technical Review** No.1-1987
- BEYON, J, Y. **Hands-On Manual for LabView Programming Data Acquisition and Analysis**, Ed. Prentice Hall PTR, 2001
- BISHOP, R, H. **Learning with LabView 6i**, New Jersey, Ed. Prentice Hall, 2001
- DIMAROGONAS, A. **Vibration for Engineers** 2ª ed, New Jersey, Ed.Prentice Hall,1996
- GROEHS, A..G. **Mecânica Vibratória** 2ª ed, São Leopoldo: UNISINOS, 2001.
- INMAN, D, J. **Engineering Vibration**, New Jersey, Ed.Prentice Hall,1996
- LABWORKS, **Vibration Testing Products**. (Costa Mesa). Catálogo [Califórnia], Disponível em <<http://labworks-inc.com/download/download.htm#vibecalc>> . Acesso em: 15 maio 2002.
- NATIONAL INSTRUMENTS, (Austin). **The Measurement and Automation catalog**. Catálogo. [Texas], 2002, 765p.
- PCB PIEZOTRONICS, (New York). **Vibration & Shock Sensor Selection Guide**. Catálogo [New York], 2002, 108p
- TEST TONE GENERATOR, Produced by, **Timo Esser**, Disponível em: <http://www.esser.u-net.com/ttg.htm>. Acesso em: 25 maio 2002.

DEVELOPMENT OF A PROFESSIONAL DIDACTIC LABORATORY OF LOW COST FOR PRACTICAL OF VIBRATORY ANALYSIS.

Abstract: Considering that the pedagogical project of the School of Engineering of the University Presbiteriana Mackenzie emphasizes the worry in supplying to the work market a qualified professional with a scientific and technological suitable background, in spite of, the existing laboratories, the creation of the laboratory of Vibratory Mechanical comes against with the pedagogical purpose and it can be considered as an ideal point in the search of the half term between cost and benefit, in view of that this type of laboratory tends to a high cost of aquisition and maintenance. The development had as an objective the possible practices to be offered, to have modular characteristics, to serve as equipment of scientific research for works of scientific iniciation in the area of vibration and not to have prohibitive cost. The modular characteristics have as hypothesis to show the student how the many modules of an equipment of dynamics measure are being distributed and , on the one hand, the modularity flexibilizes alterations of parameters of the experiment, on the other hand, damages the work in field. Then, the modularity has an important aspect, therefore it helps the pupil to view how the arrangement of the equipment that composes a system for analysis of measures of vibration in mechanical systems stays. Thinking of this way and having in mind one acceptable relation of the cost benefit, the system was composed for a signal amplifier, an electrodynamical exciter driver (shaker), a conditioner of signals, a plate of acquisition of signals, a generic software, accelerometer and a personal computer.

Key-words: Cost, Didatic laboratory, Vibrations, Acquisition of data, LabVIEW