

# EQUIPAMENTO DE CALIBRAÇÃO PARA ACELERÔMETROS PIEZOELÉTRICOS

**Eng. Edson Schüler, MSc.**

Orientador: Prof. Dr. Ildon Guilherme Borchardt

Resumo de dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia

**Resumo** - *Acelerômetros utilizados para monitoramento ou análise de vibrações na indústria devem ser periodicamente verificados quanto à sua calibração. Usualmente estão disponíveis no mercado kits para a verificação de um ponto do plano (amplitude x frequência), e uma calibração extensiva pode ser feita enviando-se o transdutor a institutos de metrologia. O equipamento apresentado produz a baixo custo corridas de calibração em amplitude e frequência para a verificação de toda uma gama de acelerômetros industriais.*

**Palavras-chave:** **acelerômetro, calibração, vibrações**

**Abstract** - *Accelerometers used for vibration monitoring or analysis in industry must be periodically verified as to their calibration. There are kits usually available in the market for the verification of a point in the plane (amplitude x frequency), and a further extensive calibration run can be taken by sending the transducer to metrology institutes. The equipment presented here yields, at a low cost, calibration runs in amplitude and frequency for the verification of a whole range of industrial accelerometers.*

**Keywords:** **accelerometer, calibration, vibration**

## 1. Introdução

Acelerômetros são os transdutores mais utilizados para choque e vibrações, sendo utilizados em larga escala na indústria de processo, por permitirem o monitoramento e inspeção de máquinas sem as tirar de operação. A análise das vibrações operacionais de um equipamento permite detectar desbalanços, desalinhamentos, desgaste de rolamentos, falhas elétricas ou de lubrificação **(3)**.

O princípio básico da transdução de uma aceleração é medir a força exercida por uma massa de prova sustentada sobre um elemento elástico sensor. Este elemento elástico pode ser um cristal piezoelétrico, que produz uma tensão proporcional à força, ou uma mola metálica com strain-gages, cuja resistência elétrica reflete a deformação produzida pela mesma.

Com o tempo de uso, tanto cristais piezoelétricos perdem paulatinamente sua polarização original de fábrica **(2)**, como a fadiga do elemento metálico altera a transdução em dispositivos com strain-gages. Assim, estes transdutores devem ser periodicamente verificados quanto à sua resposta.

Uma vibração significa a movimentação de um ponto material, invertendo repetidamente o sentido da velocidade, de tal forma que não há deslocamento resultante ao longo do tempo. O caso mais simples é o de uma vibração harmônica, em que o ponto executa um movimento sinusoidal. Se a posição descreve um movimento sinusoidal, então há uma velocidade, e uma aceleração também sinusoidais.

As amplitudes destas três grandezas são habitualmente assim medidas:

- a) Deslocamento - em micrometros pico-a-pico
- b) Velocidade - em mm/s pico-a-pico
- c) Aceleração (1) - em G pico-a-pico, onde  $G = 9,80665 \text{ m/s}^2$

## 2. Calibração

Duas variáveis devem ser percorridas (4) para uma completa verificação de um transdutor:

- a) amplitude - calibração estática (frequência constante)
- b) frequência - calibração dinâmica (amplitude constante)

Cada uma destas variáveis deve ser aumentada de forma monotônica, em intervalos, para a coleta da resposta do transdutor, em 2 ciclos percorrendo o domínio 0-máximo-0-máximo-0. A mudança de um nível a outro deve ser feita sem choques e sem a parada do equipamento, para não invalidar a caracterização de histerese ou repetibilidade.

## 3. Mesa Vibratória de Estimulação

É necessário produzir as vibrações, para o que este equipamento usa uma mesa magnética impulsionada a *voice-coils* de alto-falantes profissionais. Os *voice-coils* empregados são dois, com solenóides cuja extensão é de uma polegada, o que fornece uma amplitude de 12 mm para vibrações da mesa em torno do ponto central. Os núcleos magnéticos são montados em oposição, produzindo ao mesmo tempo um duplo mancal para manter o alinhamento do êmbolo central aos mesmos, e um aumento de linearidade por haver sempre mesmo número de espiras totais apresentadas ao entre-ferro, pois quando um penetra no entre-ferro, o segundo sai pelo lado oposto (Fig.1).

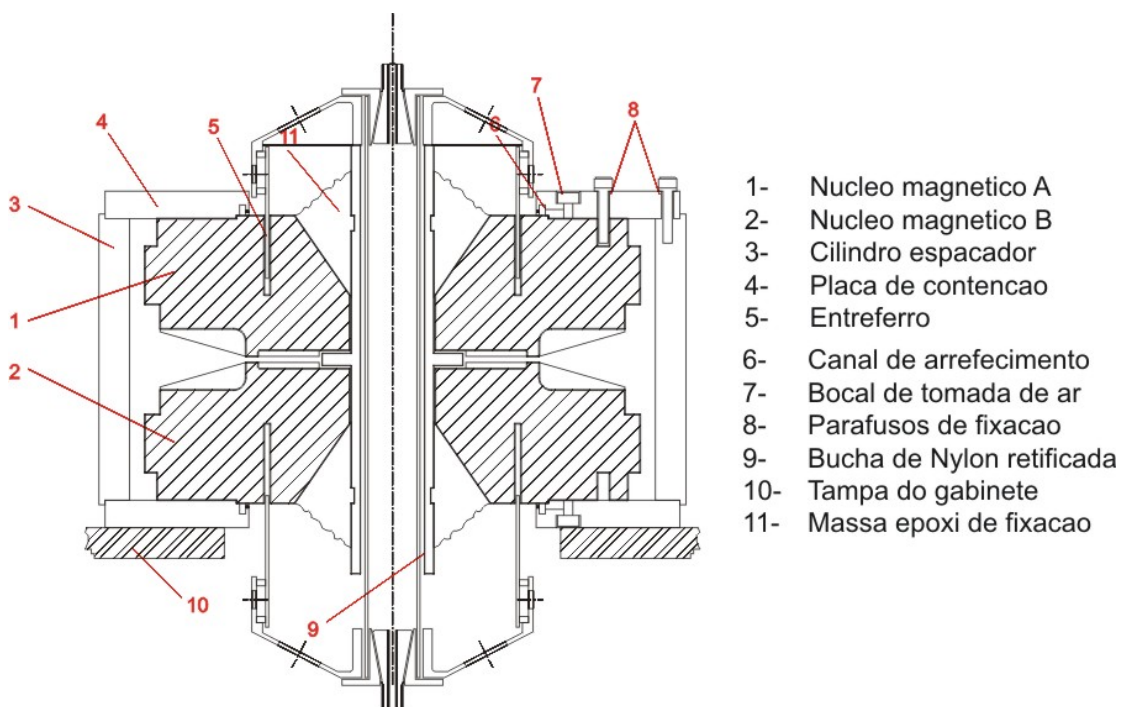


Fig.1 - Conjunto Magnético Fixo da Mesa Vibratória

Os cilindros dos *voice-coils* são acoplados por flanges cônicos, dos dois lados, a um êmbolo central tubular de Zicral, liga rígida e leve para ultra-leves. O êmbolo de

Zircal retificado excursiona dentro de uma bucha de nylon, que contém duas coroas de orifícios pelos quais se pode injetar ar comprimido para a lubrificação intersticial. As placas de alinhamento extremas também possuem coroas de orifícios para soprar ar de arrefecimento sobre os *voice-coils* durante a operação.

A potência máxima deste conjunto é de 800 W, e a força magnética estacionária máxima atinge 14 kgf. O conjunto *voice-coil*, flanges, êmbolo e acessórios pesa 350 gf, permitindo que dispositivos de até 150 g sejam estimulados a 100 G em 60 Hz.

A frequência de estimulação é gerada pelo microcontrolador do equipamento, com a precisão de seu cristal, de 0,05% (5). A amplitude da estimulação é gerada como uma tensão de referência, modulada pela frequência, que resulta em uma senoide de tensão proporcional à aceleração desejada. Este sinal é convertido pelo amplificador de potência em corrente sobre os *voice-coil*, que os transformam em força sobre o conjunto da mesa, o que resulta em aceleração sobre o mesmo.

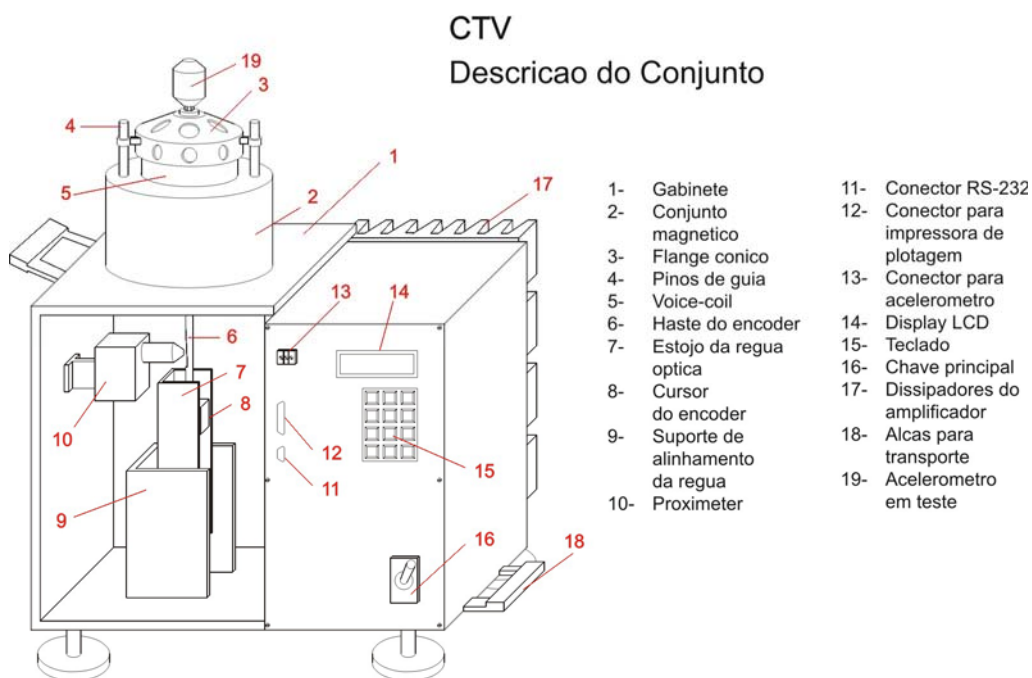


Fig.2 - Desenho em perspectiva do Calibrador

#### 4. Referência

Para uma calibração, é necessário coletar a cada ponto a aceleração de referência a ser combinada com a resposta do acelerômetro em medição. Equipamentos convencionais utilizam outros acelerômetros, em um referencial deficiente, porque além de serem padrões quarternários, têm alto custo e são sujeitos às mesmas degradações dos dispositivos a serem testados.

Aqui optou-se por uma configuração alternativa, medindo-se a aceleração através das grandezas fundamentais de espaço e tempo: a frequência da estimulação já é conhecida e tem a precisão do cristal do microprocessador. Todos os processos aplicados até a aceleração mecânica final podem deslocar a fase da vibração, mas não a frequência, que portanto não necessita ser adquirida. O deslocamento da mesa é amostrado por uma régua óptica de cristal (Fig.2-7), com resolução de 5  $\mu$ m e

precisão de 0,1% na marcação, para geração de pulsos. A estimulação é harmônica simples, e os pulsos são totalizados entre duas passagens pelo zero do gerador de freqüência, gerando uma amplitude pico-a-pico da posição da mesa. A partir da amplitude do deslocamento e da freqüência, a amplitude da aceleração RMS é calculada pela fórmula

$$A_{\text{rms}} = D_{\text{p-p}} \cdot \omega \cdot 1,414/2 \quad (1)$$

e serve de referência ao acelerômetro em teste. Esta relação será válida se for possível conseguir que o movimento da mesa seja uma senoide simples, com baixa distorção harmônica. A Fig.3 mostra as formas de onda da tensão de excitação do amplificador da mesa, acionada em 20,4 Hz com um acelerômetro de 300 g instalado, e a medição da posição pelo *proximeter* (onda central), que exibe uma distorção harmônica de apenas 6,7%, validando assim o emprego da equação (1).

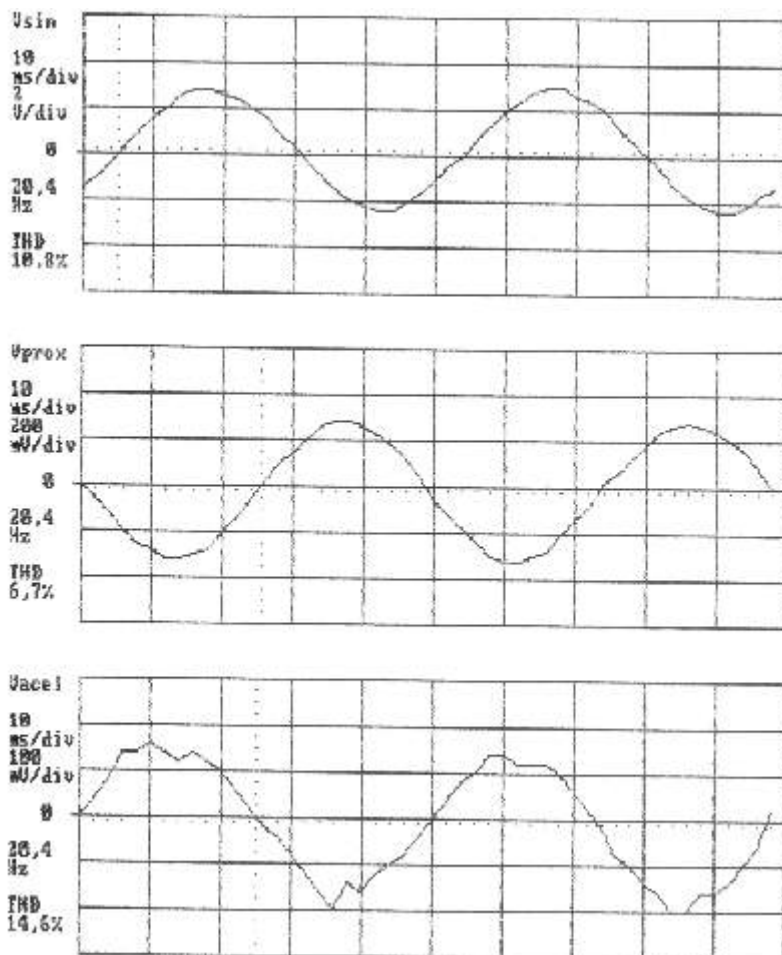


Fig.3 - Formas de onda da Excitação (Vsin), Posição (Vprox) e Aceleração (Vaccel) da Mesa quando vibrando um acelerômetro de 300 g a 20,4 Hz e 3 G

## 5. Conclusões

A seleção de dispositivos apropriados disponíveis no mercado, e de situações específicas de teste pode simplificar grandemente sistemas usualmente muito complexos de teste e calibração.

A utilização de microcontroladores em sistemas de medição carrega intrinsecamente uma base de tempos de alta precisão, o que permite a obtenção direta de taxas de variação de qualquer grandeza amostrada. Níveis medidos digitalmente podem ter sua resolução aumentada substancialmente por decimação, ou filtragem numérica das amostras.

A utilização das técnicas descritas permite, a custos módicos, a obtenção de um sistema de calibração com precisão melhor que 1%.

## **6. Referências Bibliográficas**

1. ABNT - NBR-7497, **Vibrações Mecânicas e Choques - Terminologia** - Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, 1982
2. TINHAM, B. - **The Frightening Facts about Accelerometers** - Control & Instrumentation, vol 19 No.7, Jul/1987
3. YACUBSOHN, R.V. - **El Diagnostico de Fallas por Analisis Vibratorio**, Edicomp, São Paulo, 1983
4. LICHT, T.R; ZAVERI, K; PHIL,M. - **Calibration and Standards, Vibration and Shock Measurements** - Bruel & Kjaer Technical Review No.4, Denmark, 1981
5. INTEL - **16-Bit Embedded Controller Handbook** - Intel Corp. Mt.Prospect/IL, 1991