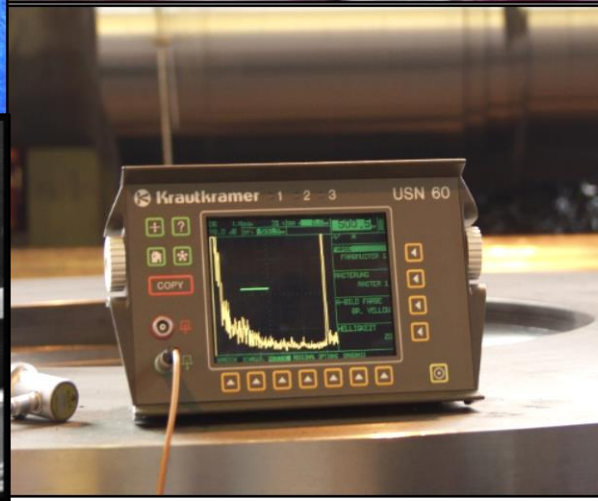
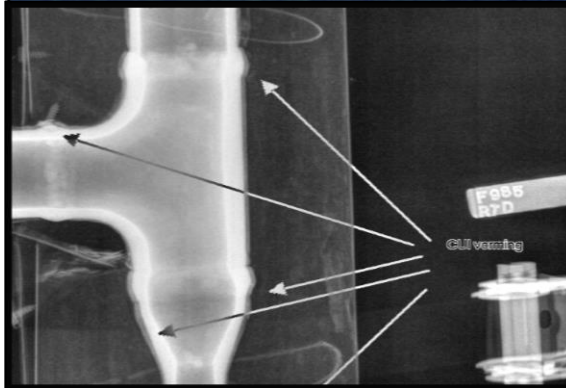
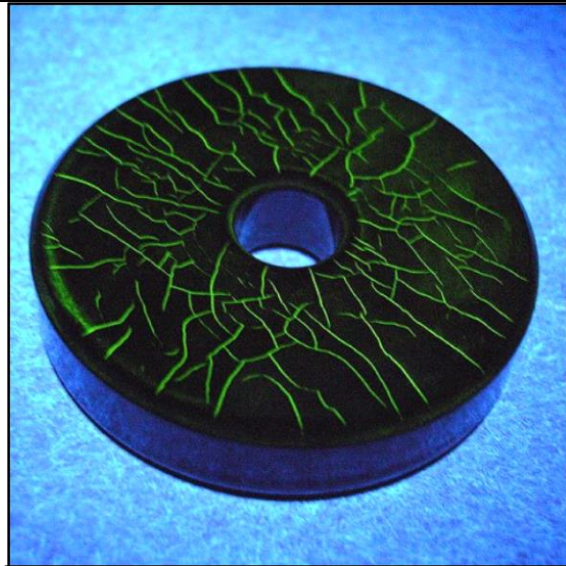


LOM 3084 –INSPEÇÃO E ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS



Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

REFERÊNCIAS:

- **METALS HANDBOOK, VOL.17;**
- **Apresentação do Engº Fabiano Vieira – Grupo Moura;**
- **Apresentação do Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias- UNESP.**
- **Apresentação do Engº LUÍS HENRIQUE POY – XVII-COBREAP**

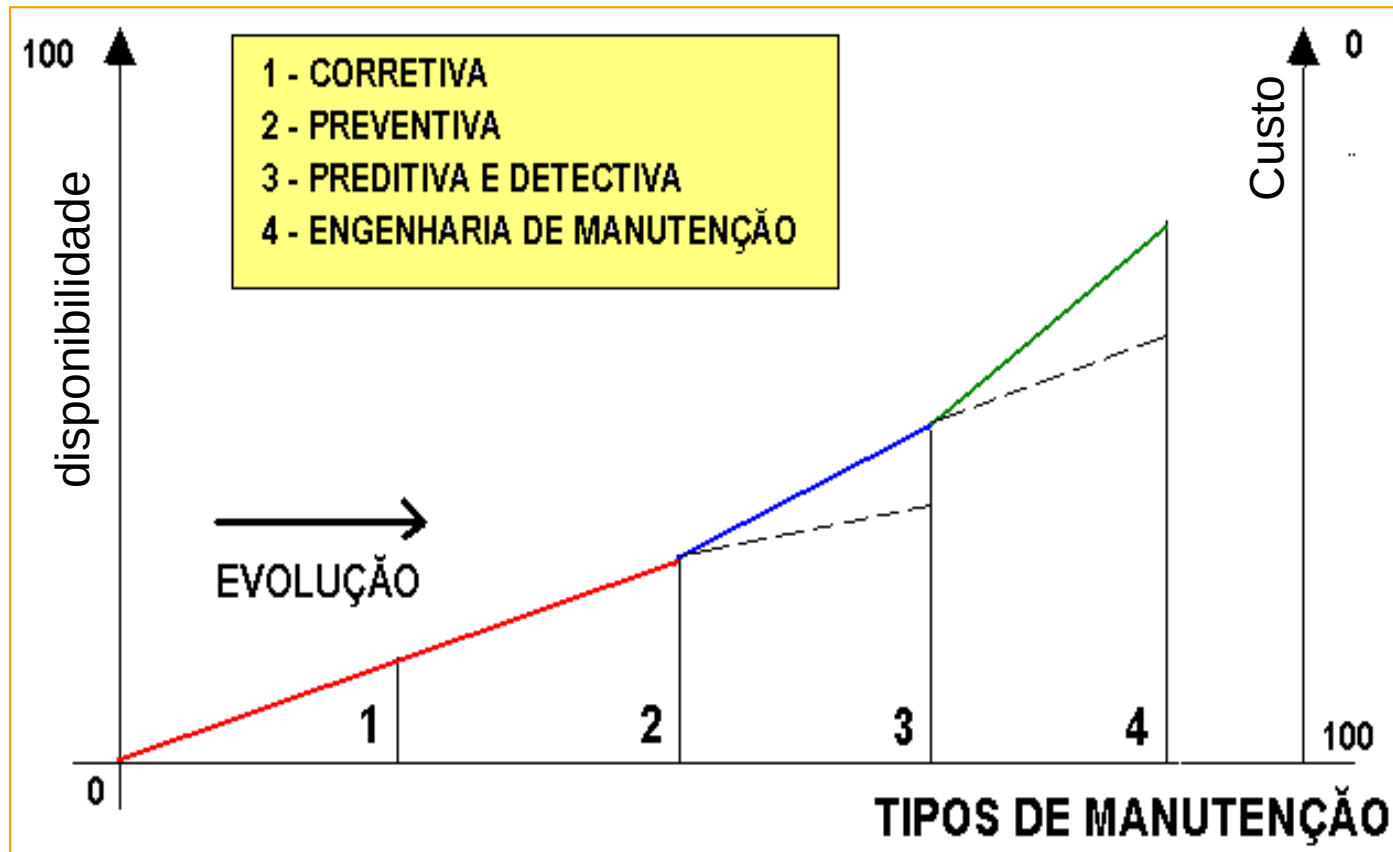
Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

ANÁLISE DE VIBRAÇÃO, TERMOGRAFIA E BARKHAUSEN

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

MANUTENÇÃO

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

Manutenção preventiva

- Dificuldade em determinar itens críticos;
- Dificuldade em fixar idade crítica das peças;
- Comumente as verificações são feitas a cada 100h; 500 h; 1000h e 4000 horas.

Manutenção preditiva

Objetiva detetar “ a priori” possíveis falhas mecânicas

- Exemplo: análise periódica do óleo lubrificante do motor ou de outro sistema;
- Utilização do espectrofotômetro;
- Determinação da alcalinidade do óleo.

Técnicas de manutenção preditiva

- **Análise de vibrações de equipamentos rotativos e alternativos;**
- Análise de corrente e fluxo magnético de motores elétricos;
- Análise de óleo lubrificante;
- **Termografia de sistemas elétricos e mecânicos;**
- Ultrassom para detecção de vazamentos e defeitos de válvulas.

ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

CONCEITOS

- Todos os corpos dotados de massa e elasticidade são capazes de produzir vibração;
- A base é a física ondulatória, transformadas de Fourier;
- Existem duas classes de vibração: a livre e a forçada;
- A **vibração livre** acontece devido a ação de forças inerentes a seu sistema, que no caso corresponde a sua **frequência natural** de vibração;
- A **vibração forçada** ocorre devido a atuação de esforços **externos**;
- **Se a oscilação** provocada por esforços externos **coincidir** com uma das **frequências naturais** do sistema, ocorrerá **ressonância**, podendo causar falhas catastróficas.

Medidor de Vibração
(deslocamento, velocidade, aceleração)

Pré-Amplificadores

Filtros

Analísadores
de Frequência

Gravadores
Magnéticos

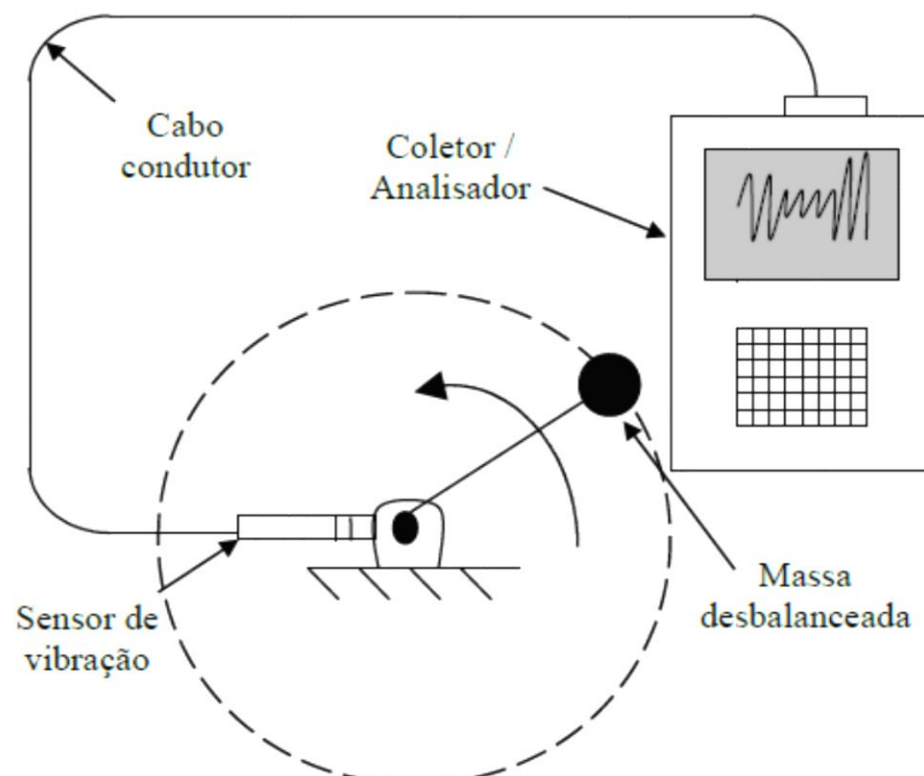


Figura 3.6 – Diagrama esquemático para análise de vibração em um equipamento.

Sensores de Vibração

Os sensores de vibração são dispositivos que fazem a codificação de um sinal mecânico em um sinal elétrico representativo. Existem basicamente três tipos de sensores no mercado: **de deslocamento**, **de velocidade** e por fim o **acelerômetro**.

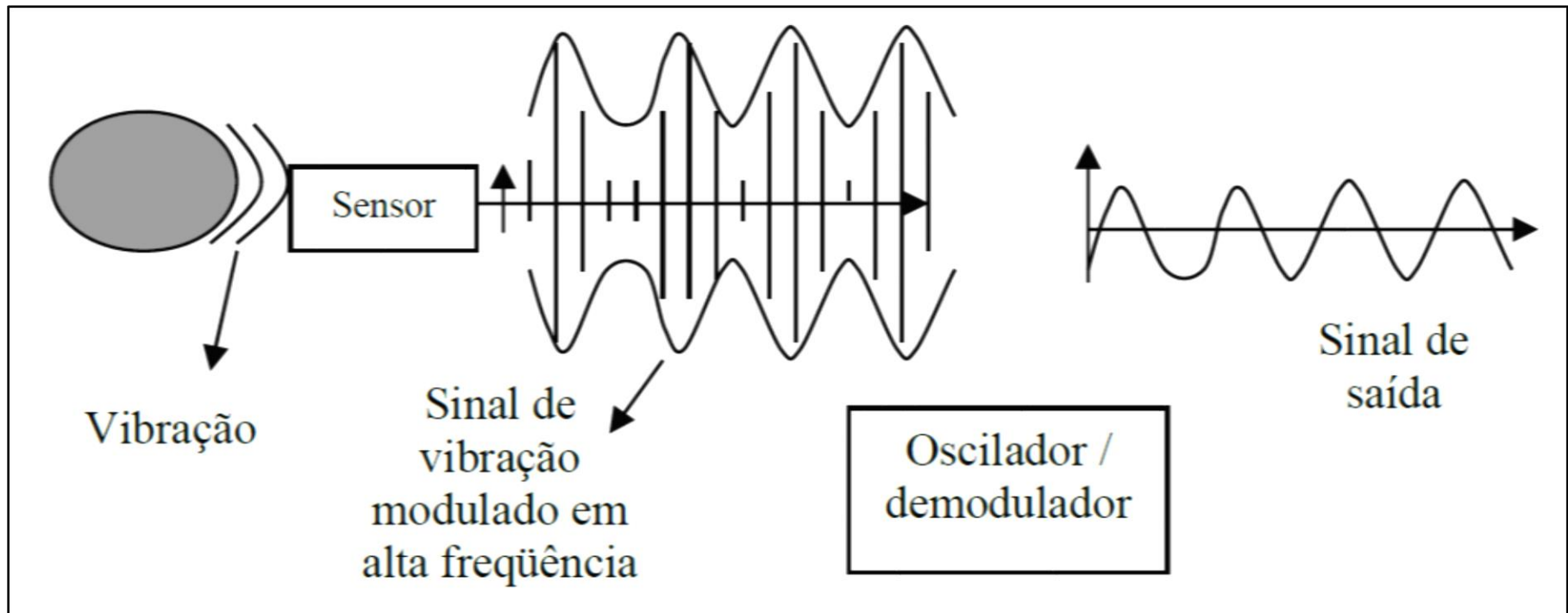
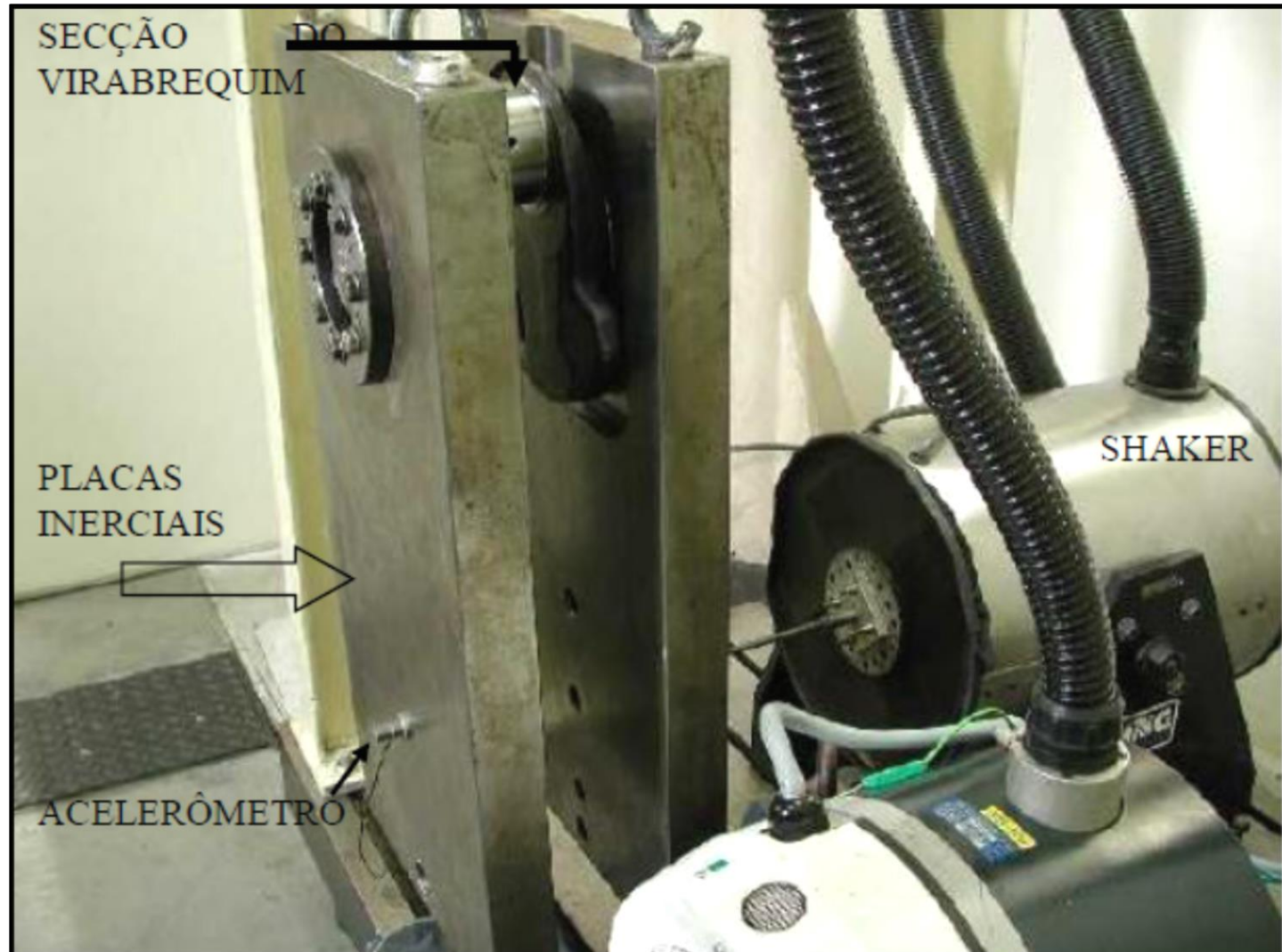


Figura 3.7 - Esquema do sistema de medição de vibração por deslocamento através de "sensor sem contato" por corrente de Eddy.



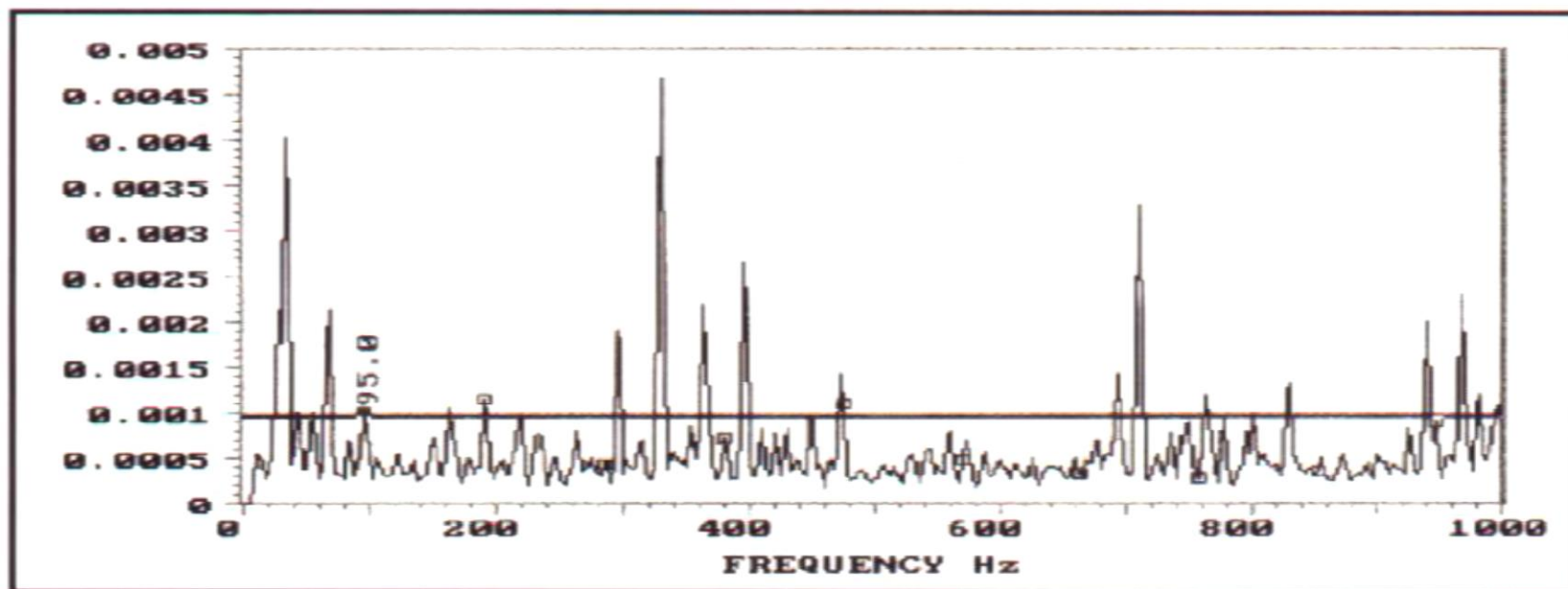
Figura 2.12 – Secção do virabrequim a ser ensaiada.



Através da análise de vibrações de conjuntos mecânicos é possível identificar uma variedade de falhas e as mais comuns que respondem pela maior parte das ocorrências em manutenção são:

- **Desbalanceamento;**
- **Desalinhamento;**
- **Componentes soltos;**
- **Defeitos em mancais de rolamentos;**
- **Defeitos em engrenagens.**

Cada tipo de máquina possui uma
"ASSINATURA ESPECTRAL ORIGINAL"



Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

Desbalanceamento - Exemplo

Utilizando a bancada experimental serão efetuadas coletas de dados demonstrando como se caracteriza o defeito desbalanceamento.

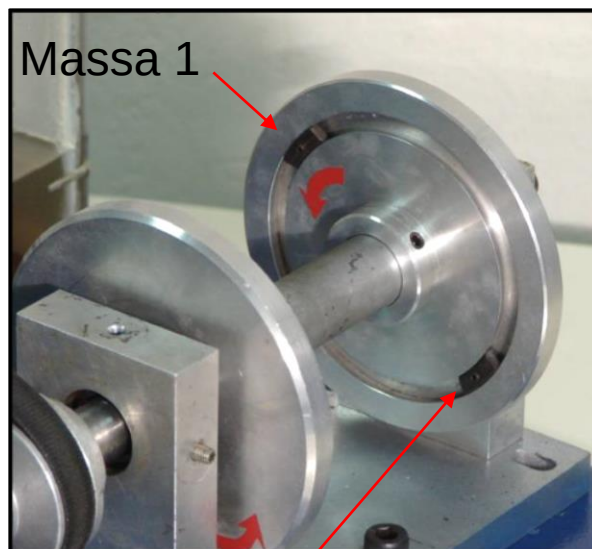


Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

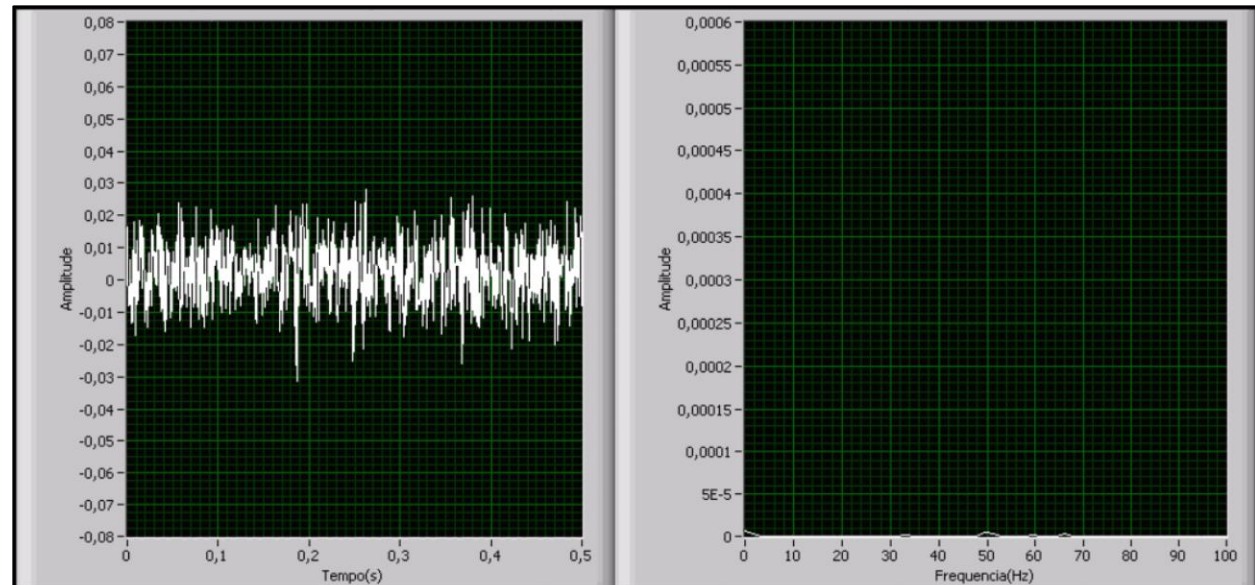
1º caso – Massas opostas (Eixo sem desbalanceamento)

Massas no disco:

Sinal coletado com eixo a 20 hz:



Massa 2



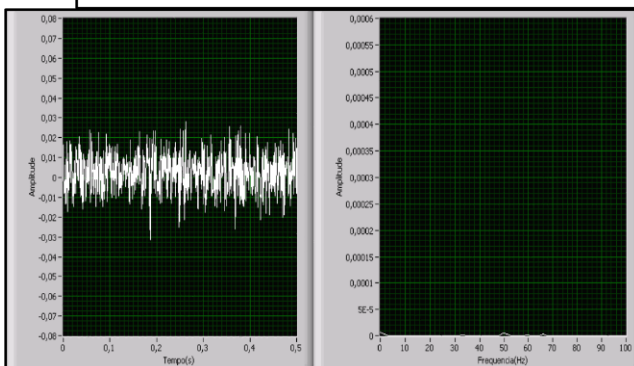
Tempo

Frequência

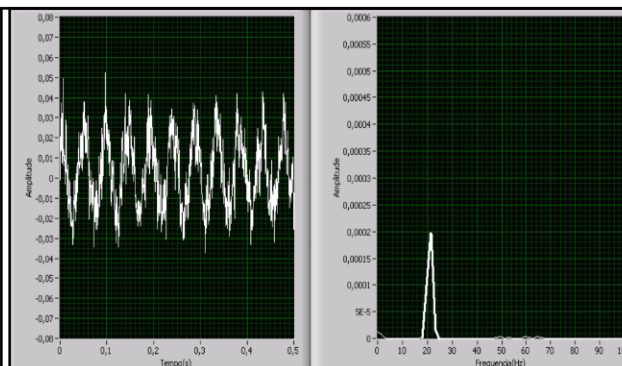
Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

Comparando os espectros dos 3 sinais coletados a 20hz (1200 rpm):

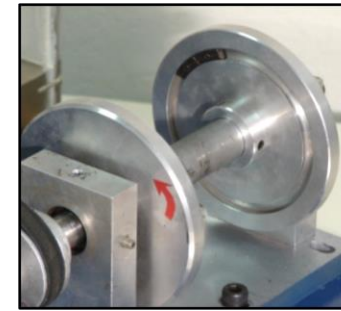
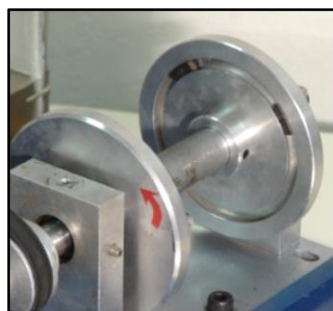
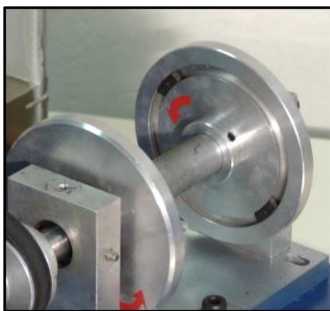
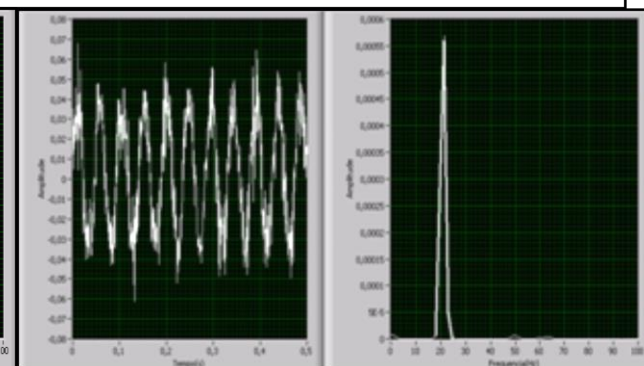
Massas opostas



Massas a 90°



Massas lado a lado



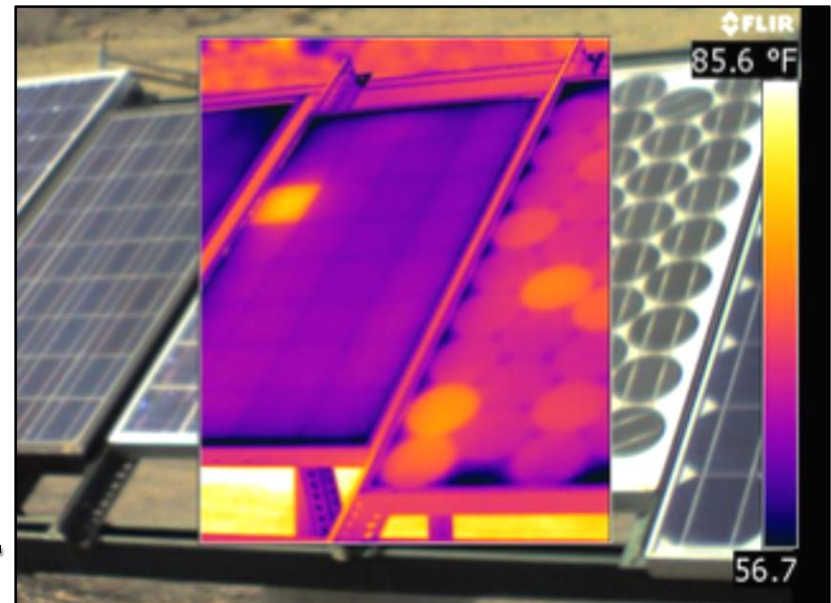
Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

TERMOGRAFIA

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

TERMOGRAFIA

- Técnica não-destrutiva que utiliza uma câmera especial para capturar a energia infravermelha (o calor), emitida pelos objetos;
- Após tratamento adequado e através da representação da imagem em escala de cores, possibilita distinguir variações mínimas de temperatura, revelando aspectos não visíveis a olho nu.

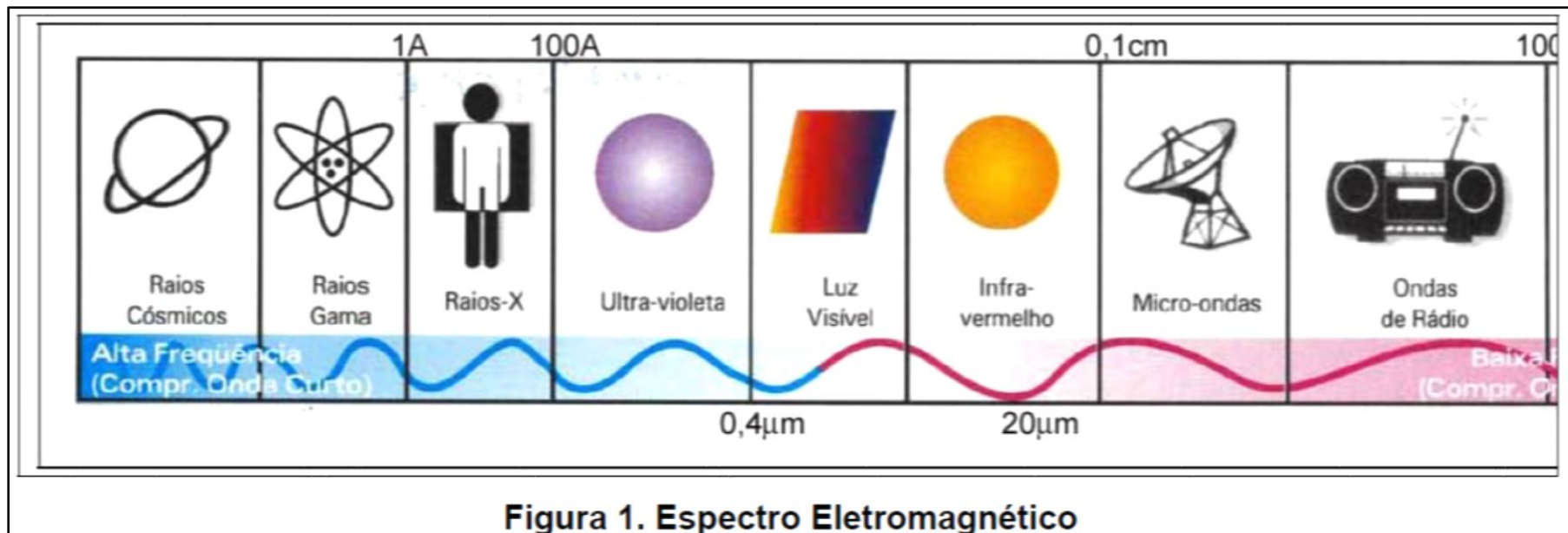


Prof.Dr. Cassius O.

TERMOGRAFIA

Princípios básicos

- **Radiação infravermelha** emitida por todos os corpos que estão **acima do zero absoluto**;
- Radiação **infravermelha** pode ser percebida pelo **calor**. Ex: ao ligar o aquecedor, sente-se o **calor antes** de ficar **incandescente**;
- **Comprimento de onda típico** das radiações emitidas por corpos à **temperatura ambiente é de 10 μ m**;
- Se os seres humanos “enxergassem” esse comprimento de onda” tudo seria brilhante (as cobras enxergam);



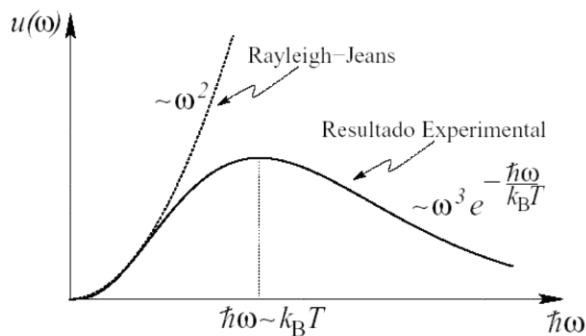
Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

Física da termografia

- **Newton**, em 1664 – **decomposição** da luz branca;
- **William Herschel (1738 - 1822)**, em 1800, o astrônomo inglês **repetiu a experiência de Newton**: qual das **cores** do arco-íris provocaria **maior aquecimento** do bulbo de um termômetro. Percebeu que o **aquecimento** era **mais eficaz** com o **alaranjado e com o vermelho** e ainda mais, na **região escura, além do extremo vermelho** do espectro;
- **Corpo negro** o meio ou substância que **absorve toda a radiação incidente**. **Nenhuma radiação incidente é refletida ou transmitida**;
- **Corpo negro**: similar a **uma caixa** cujas **paredes** são mantidas a uma **temperatura uniforme**, que se comunica com o exterior por meio de um **orifício muito pequeno**;
- **Radiação de corpo negro**: emitida após a radiação ser absorvida e entrar em **equilíbrio termodinâmico**.

Física da termografia

- **Max Planck, 1900: teoria Quântica.** Percebeu que a radiação de corpo negro **experimental, não** correspondia ao **modelo clássico**. Postulou que a energia radiativa é emitida em pacotes finitos, ou quanta, e que a energia de um quantum é $h\nu$. Dessa forma, a **radiância espectral** emitida por um corpo negro é descrita matematicamente pela função de Planck.



$$B_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5 [\exp(hc / \lambda kT) - 1]} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}]$$

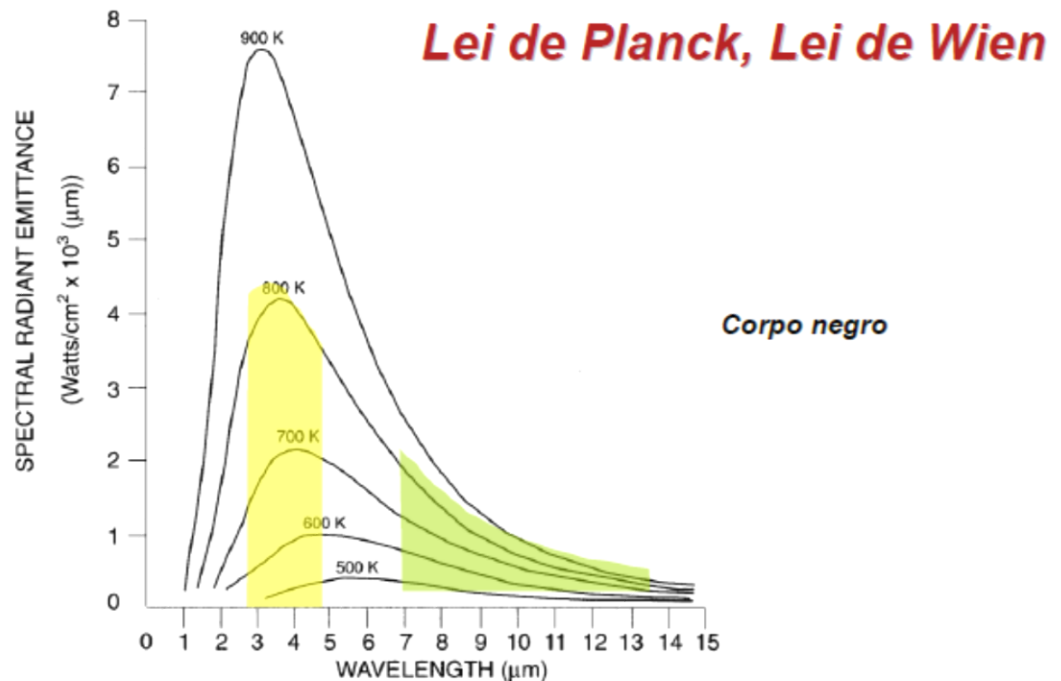


Tabela 1. Temperatura x cor percebida.

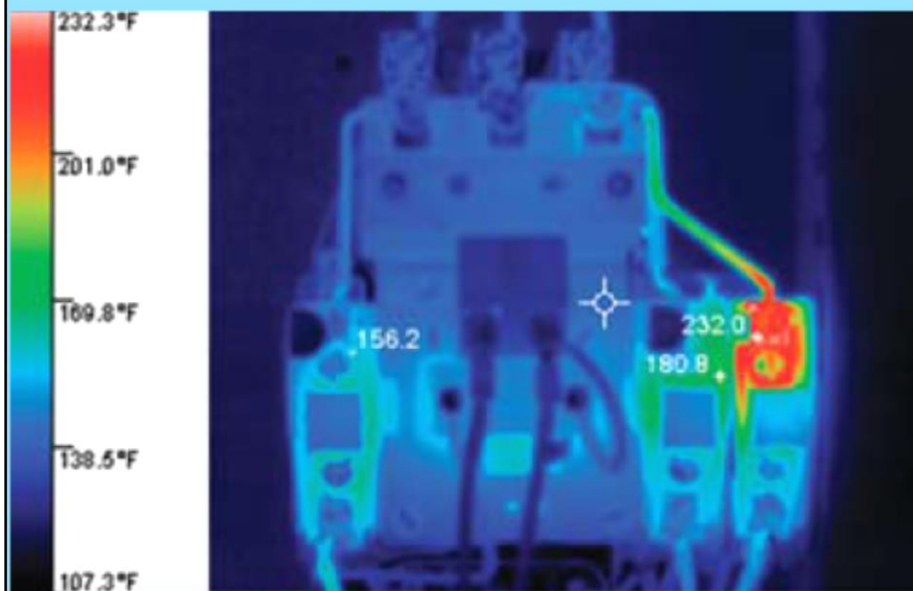
Temperatura °C	Cor
500	vermelho pouco visível
700	vermelho sombrio
900	cereja
1000	cereja brilhante
1100	vermelho alaranjado sombrio
1250	amarelo alaranjado brilhante
1500	branco
1800	branco ofuscante

Ensaio

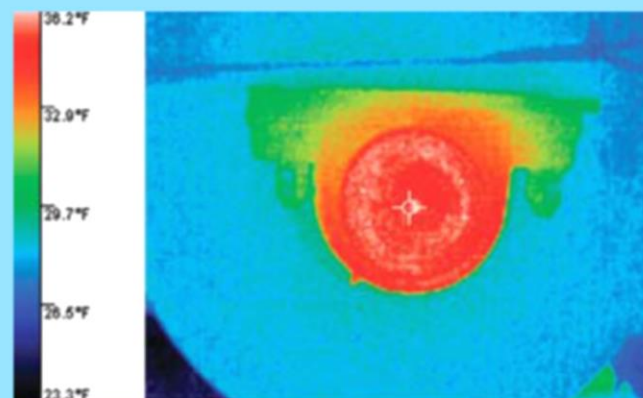
- Necessário conhecer o **perfil térmico** do equipamento ou peça;
- **Passiva e ativa;**
- **Passiva:** capta o perfil térmico **sem incidir radiação térmica externa;**
- **Ativa:** expõe a peça à **radiação térmica externa e retira. Análise no resfriamento;**
- **Termógrafo capta o perfil térmico.**



TERMOGRAFO

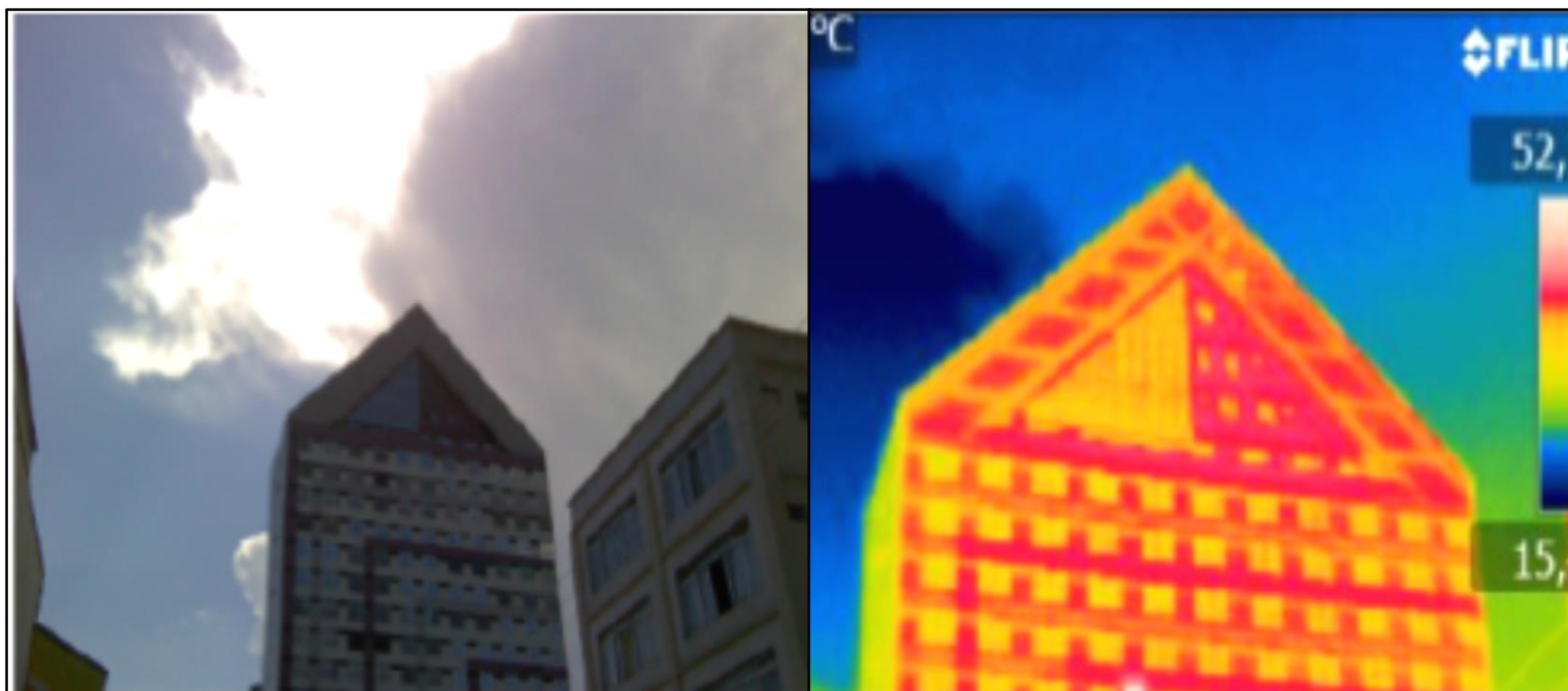


À temperatura das conexões desta bomba evaporadora se apresentava 50°C acima do normal, na fase C.



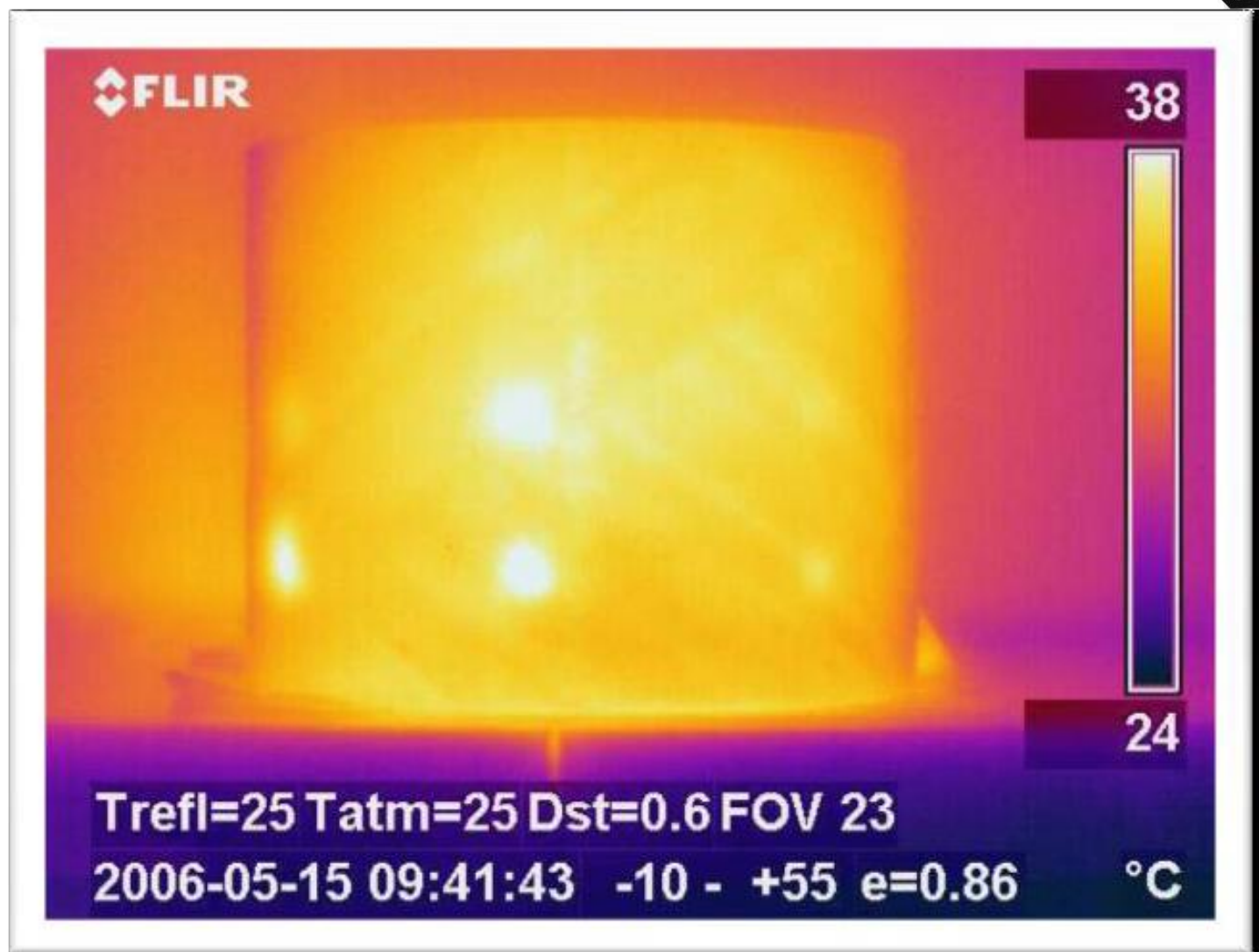
O superaquecimento deste eixo e deste rolamento pode ser uma indicação de falha iminente, falta de lubrificação adequada ou desalinhamento do rolamento.

TERMOGRAFIA – APLICAÇÃO NA ÁREA CIVIL



Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

PEÇA COM FUROS

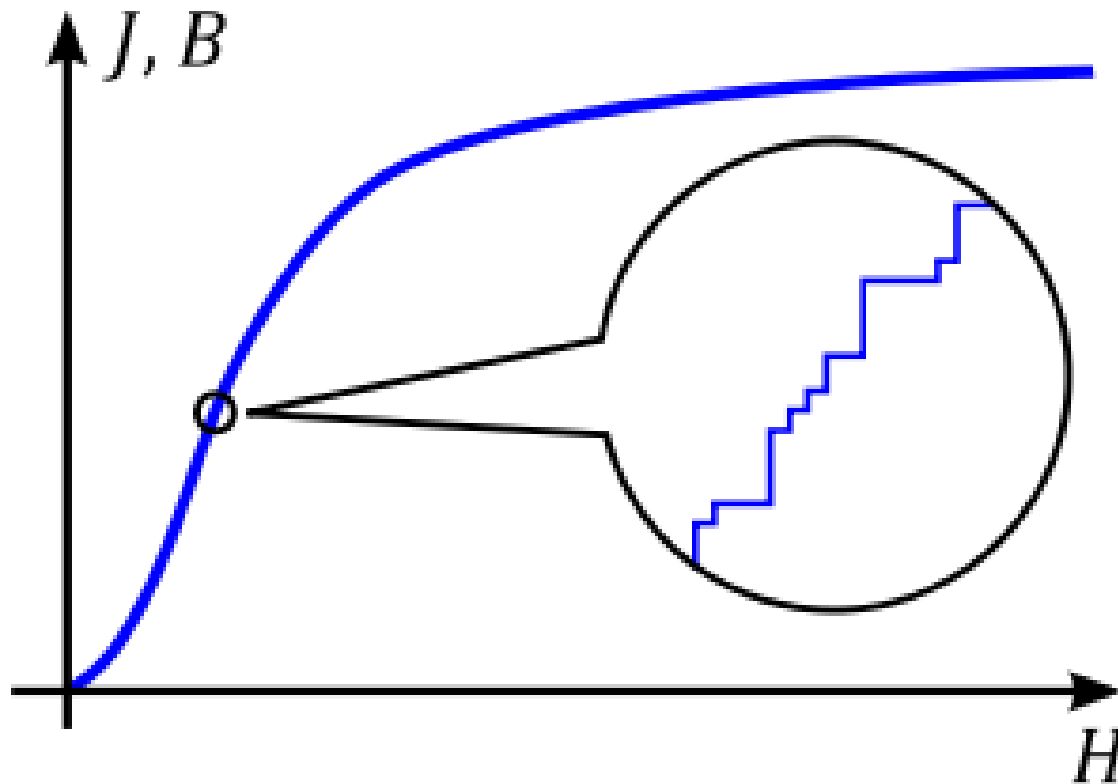


Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

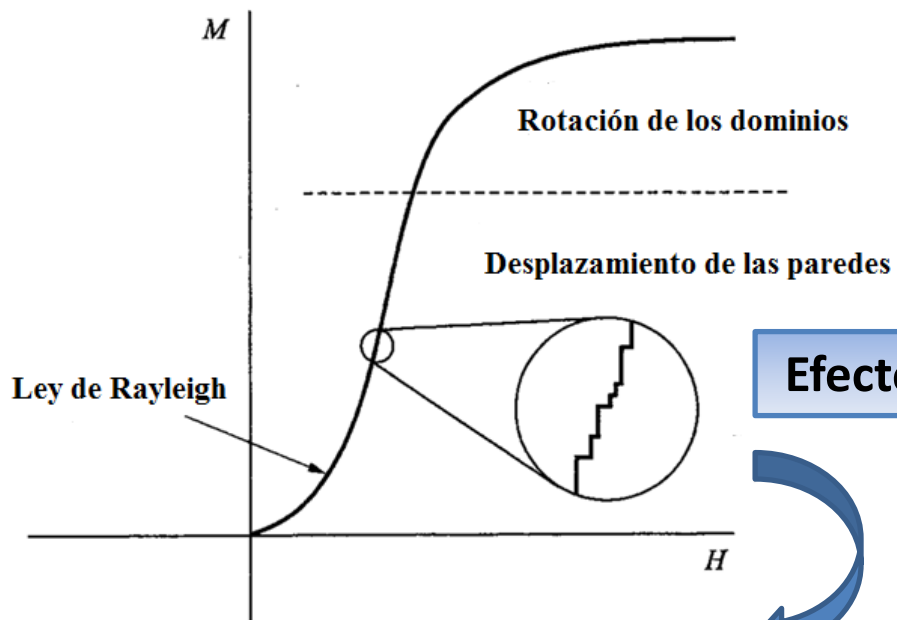
Ruído Magnético de Barkhausen

Manuel Alberteris Campos

O **efeito Barkhausen** se manifesta por uma mudança em passos descontínuos da magnetização de um material ferromagnético que se encontra exposto a um campo magnético, o qual varia de maneira contínua



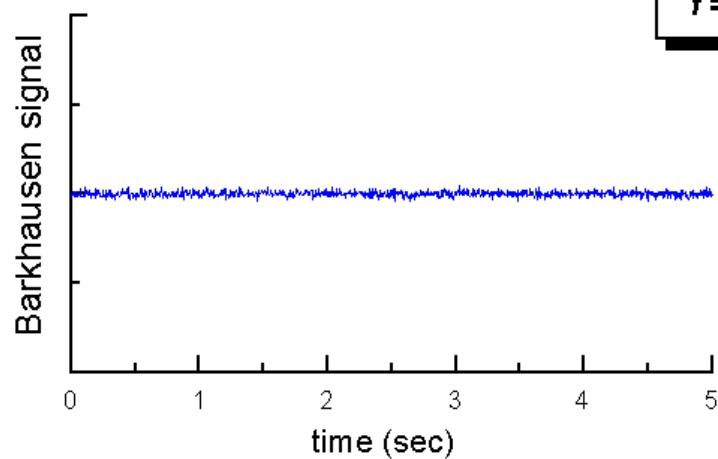
Magnetização (J) ou densidade de fluxo (B) da curvatura como função da intensidade do campo magnético (H) em material ferromagnético. A inserção mostra saltos do efeito Barkhausen.



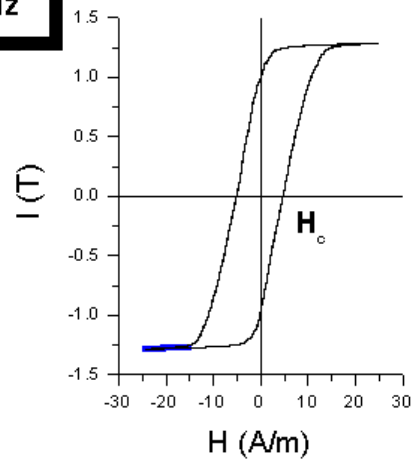
Efecto Barkhausen



Heinrich Georg Barkhausen
(1881-1956)

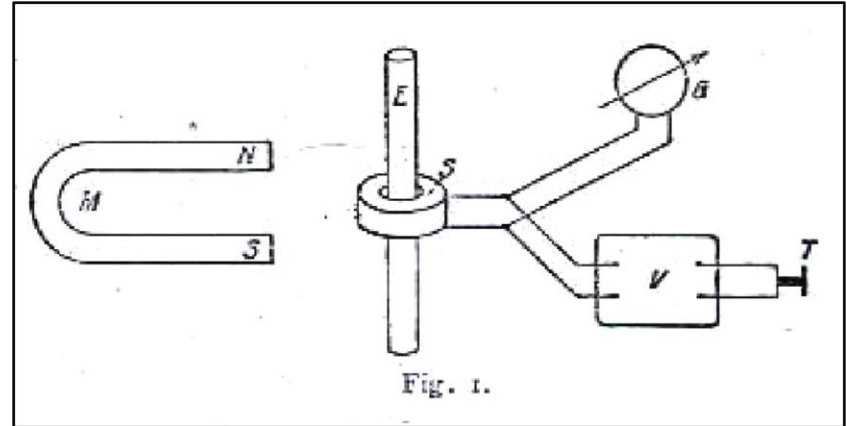
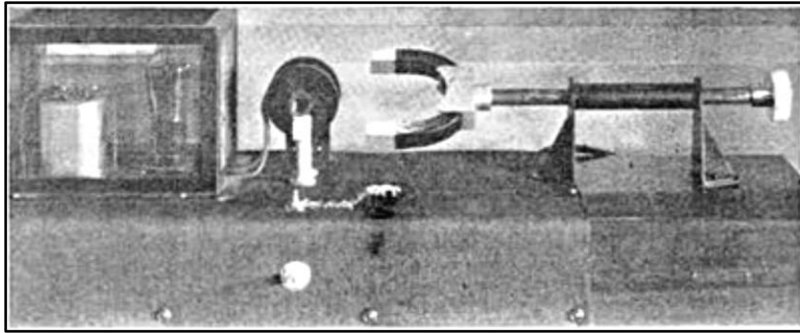


$f = 20 \text{ mHz}$



Existência de Domínios Magnéticos

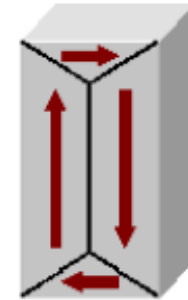
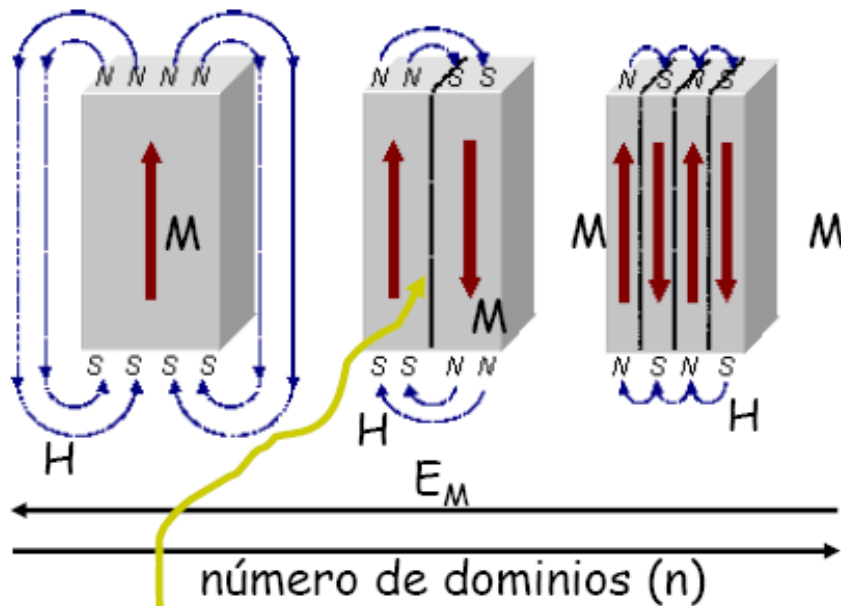
Experiência de Henry Barkhausen 1919:



O efeito foi descrito em 1919 pelo engenheiro eletrônico alemão Heinrich Barkhausen quando se observou o aumento gradativo e contínuo do campo magnético de um material ferromagnético.

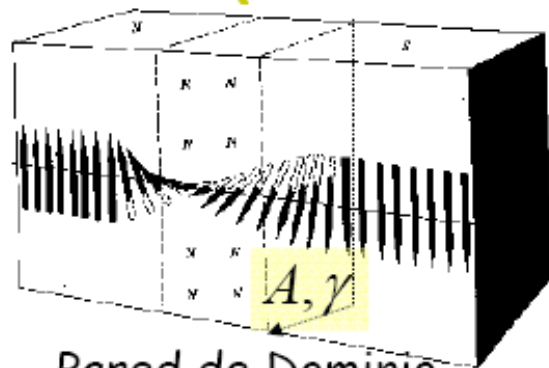
Replica of Barkhausen's original apparatus, consisting of an iron bar with a coil of wire around it (*center*) with the coil connected through a vacuum tube amplifier (*left*) to an earphone (*not shown*). When the horseshoe magnet (*right*) is rotated, the magnetic field through the iron changes from one direction to the other, and the crackling Barkhausen noise is heard in the earphone

energías magnetostática + pared de dominio



dominio de cierre

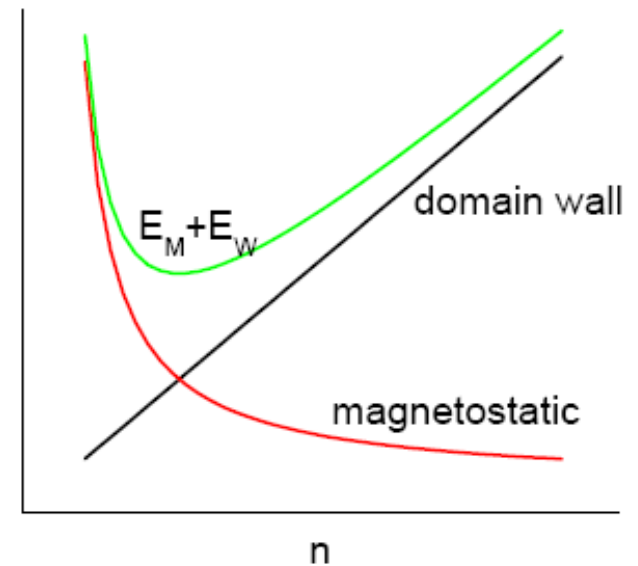
$$E_M \approx \frac{\alpha V \mu_0 M_s^2}{n} \quad \alpha < 1$$

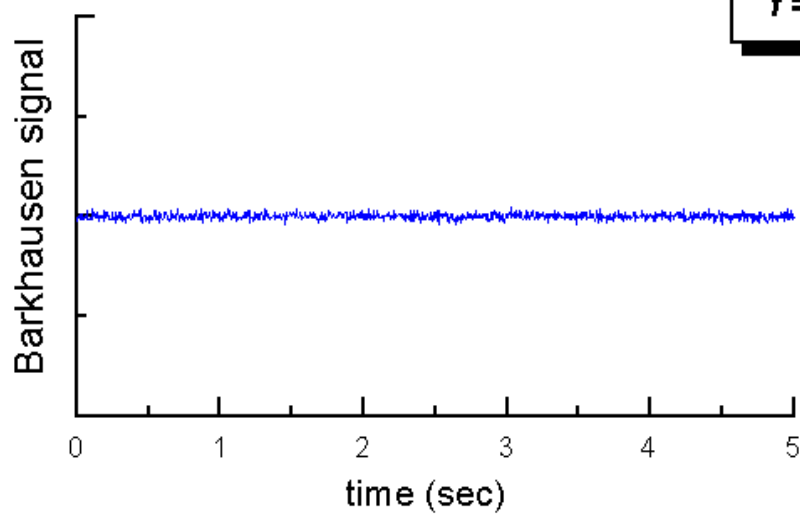
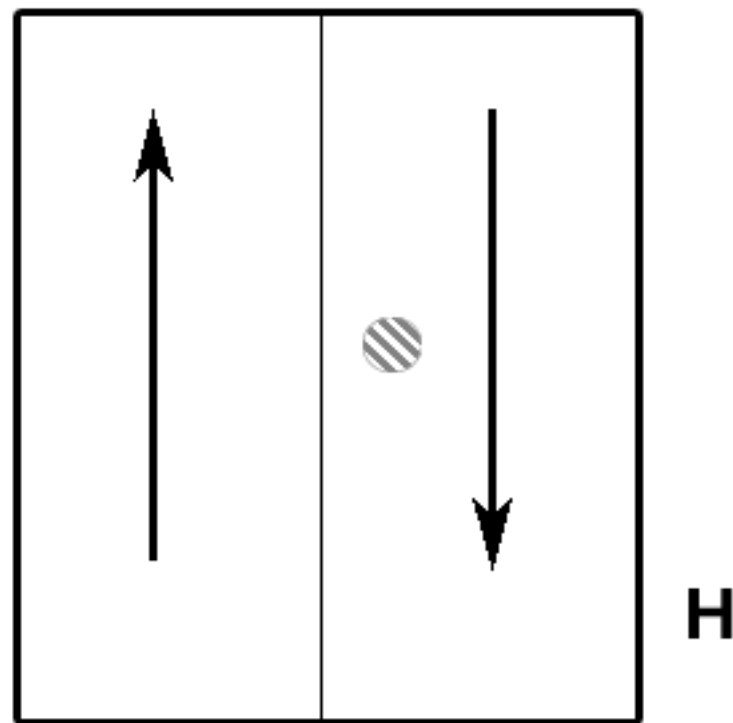
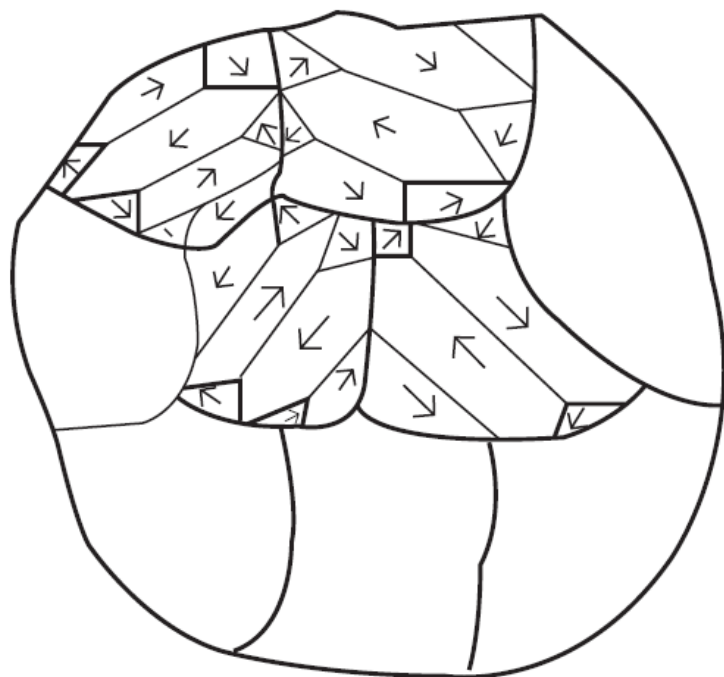


Pared de Dominio (Bloch)

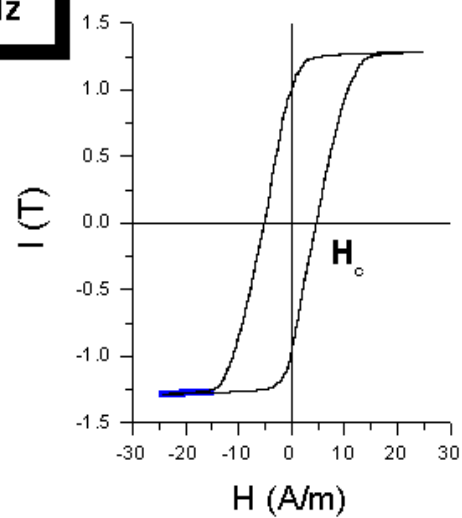
$$E_W \approx n A \gamma$$

E





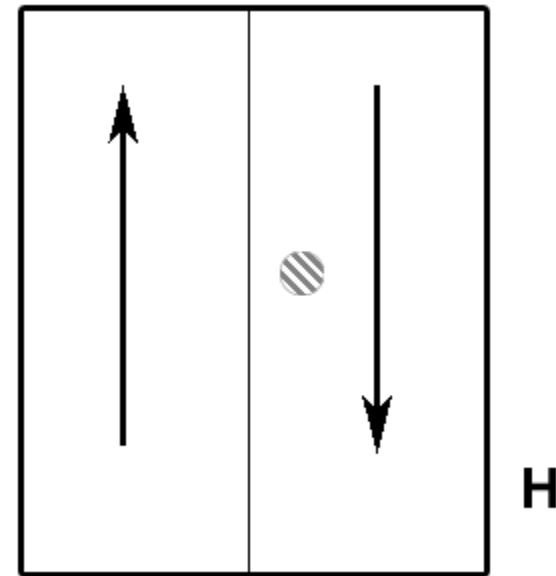
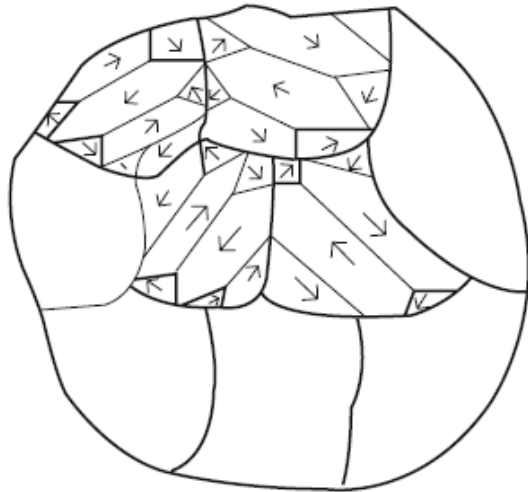
$f = 20 \text{ mHz}$



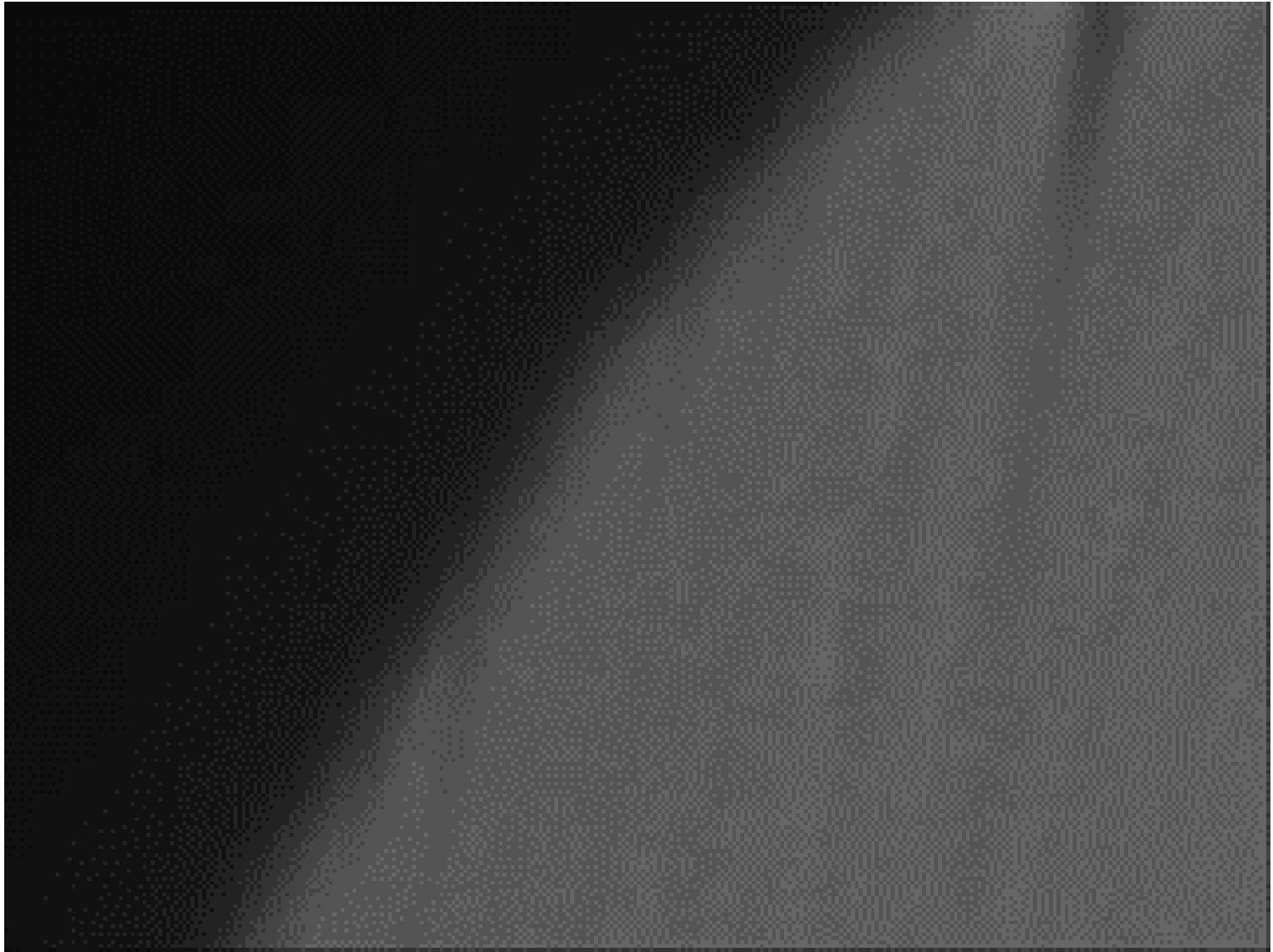
Origem dos Domínios Magnéticos

$$E_{total} = E_{troca} + E_{Mag-cristal} + E_{Mag-estática} + (E_{disor} | E_{parede})$$

Largura da Parede Quantidade de Domínios Interação Parede-Defeito

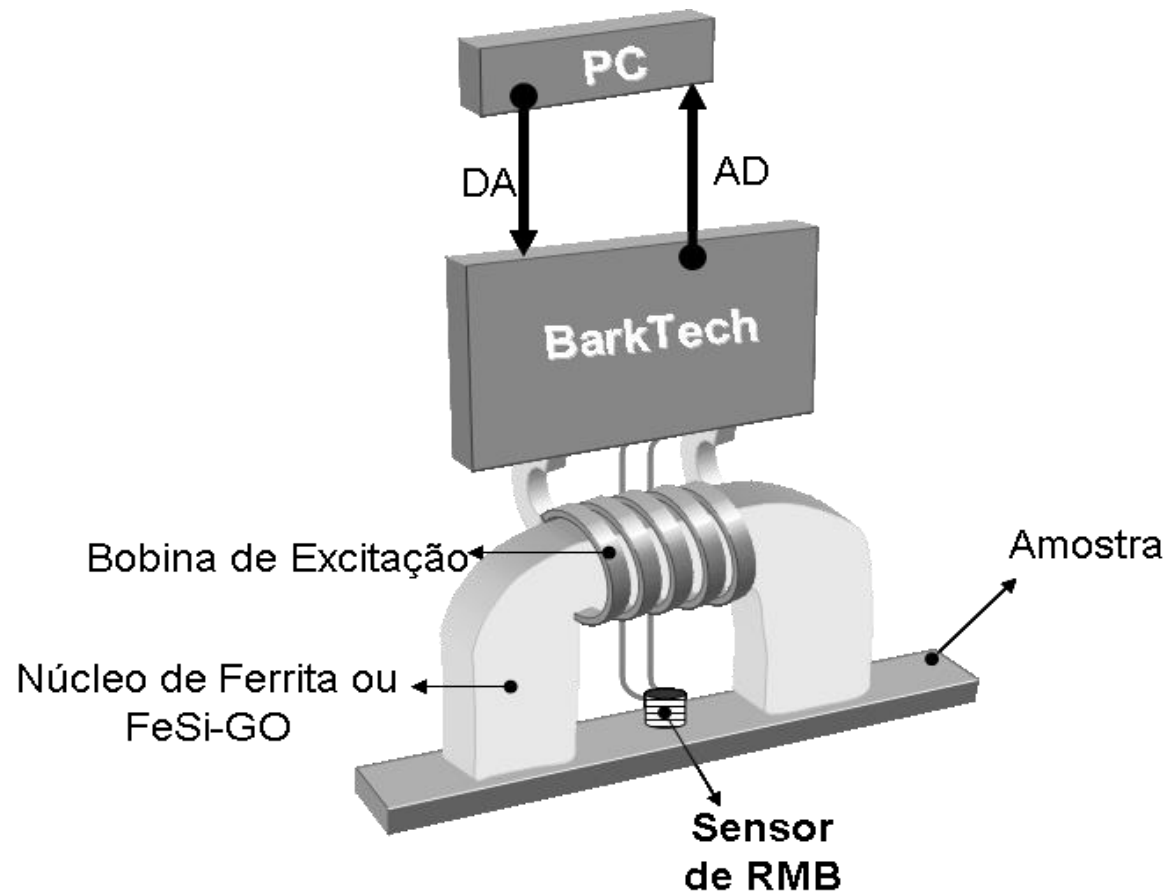


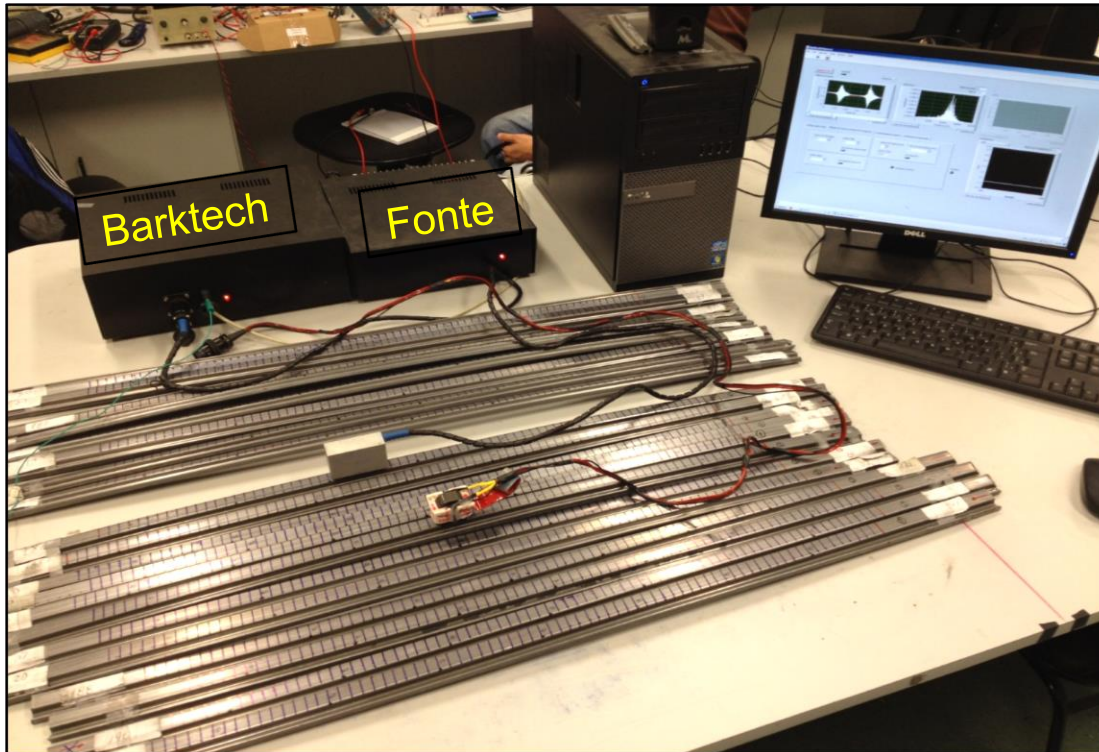
Domínio de movimento da parede com um "salto" Barkhausen



Arranjo usado na Medição do RMB

Sistema de Medição para Inspeção





Equipamento de RMB USP
(BarkTech)



Equipamento de RMB UFABC
(RollScan250) StresTech

Ensaaios Não Destrutivos e RMB

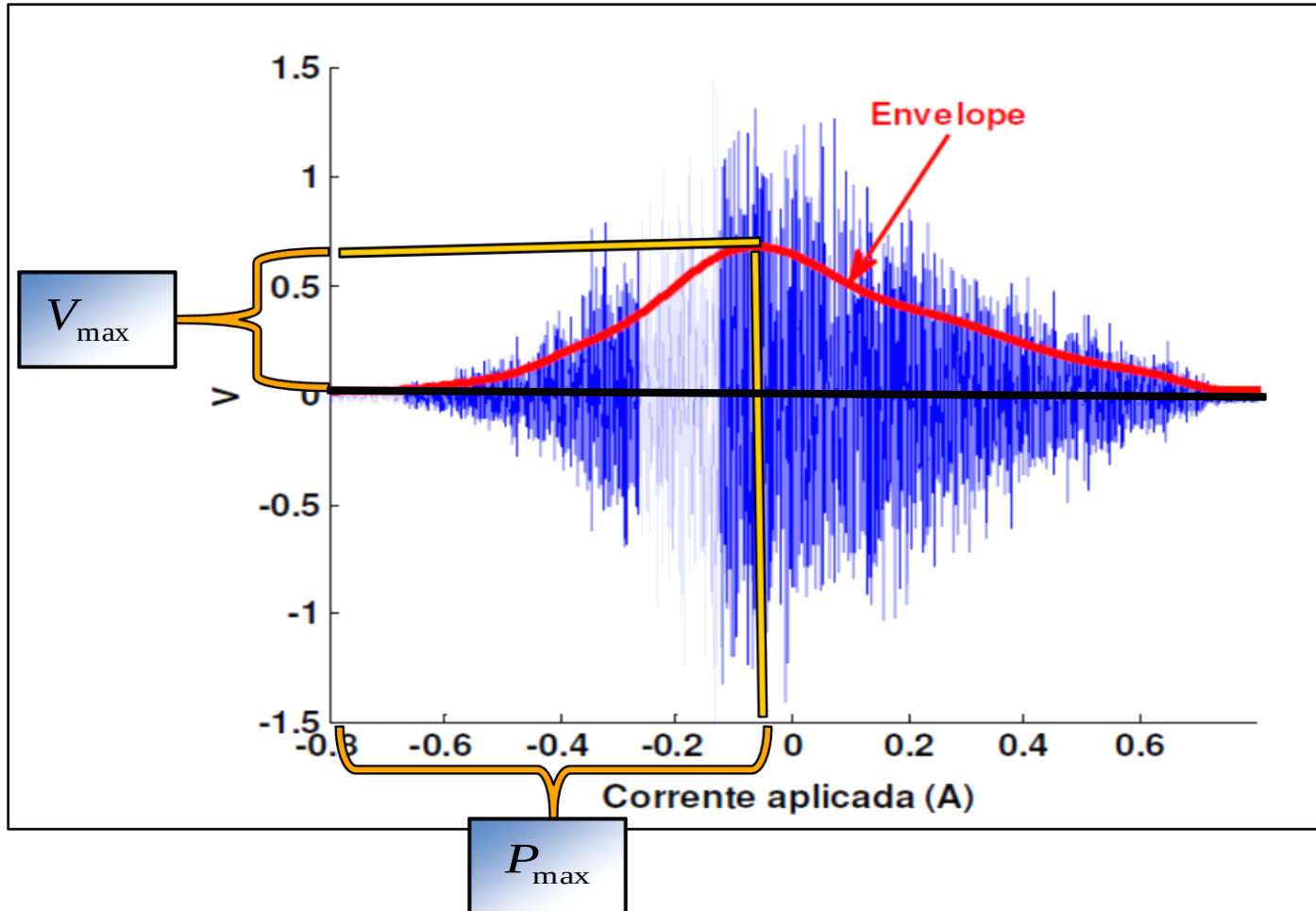
ENDs TRADICIONAIS

- Detectam defeitos volumétricos, tais como trincas e perda de espessura.
- Em geral são usados para inspecionar e não monitorar.

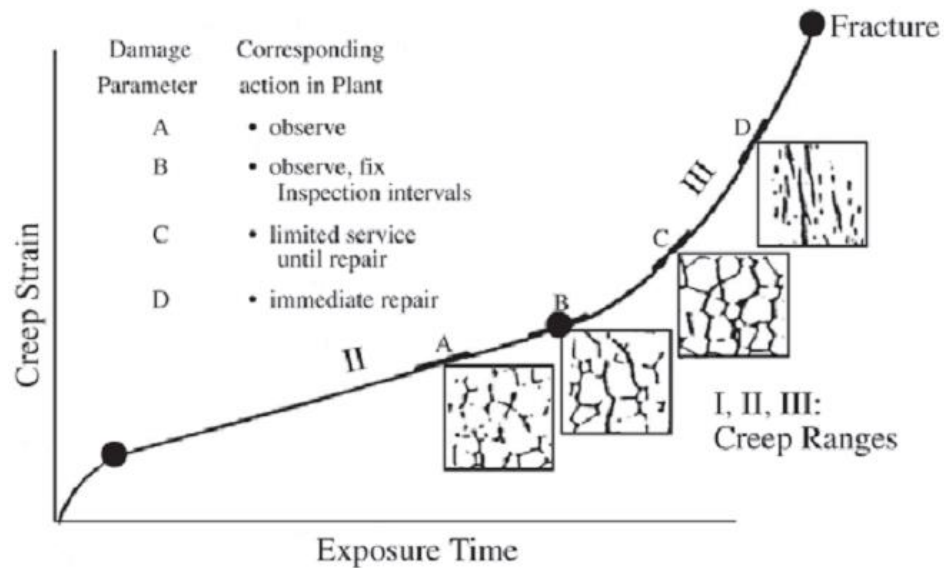
ENDs MAGNETICOS

- Apresentam alta sensibilidade às mudanças na microestrutura e aos **estados de tensão. Degradação Termo-Química, Degradação Mecânica.**
- Em geral servem tanto para inspecionar áreas de material relativamente grandes como para monitorar ao longo do tempo, com potencial para **Controle da Qualidade** de processos industriais.

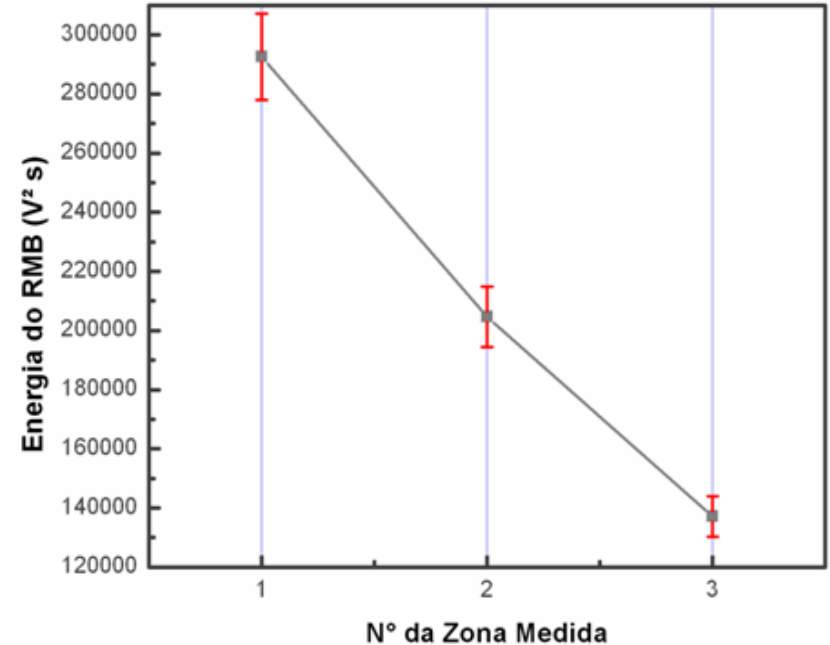
Parâmetros do RMB



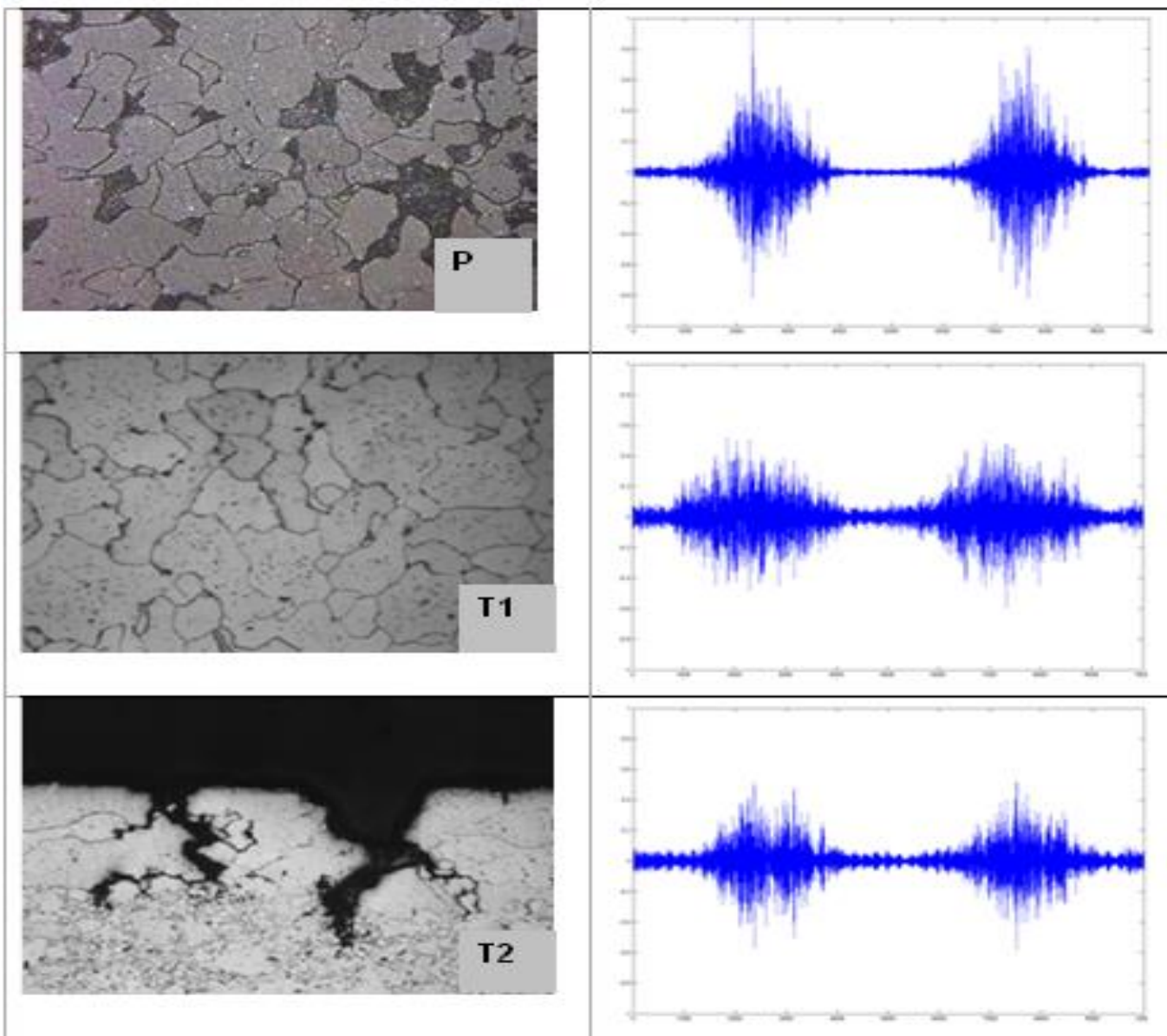
Fluência e RMB



Classificação de Neubauer através de Replicas Cristalográficas.



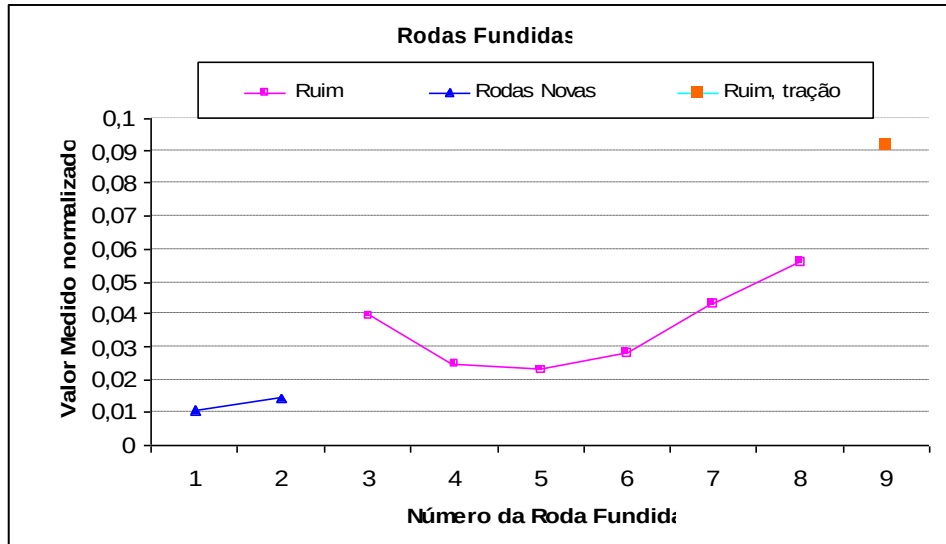
Sinais de RMB e Zonas do Super-Aquecedor



Tensão Aplicada e RMB



Tensão Residual e RMB

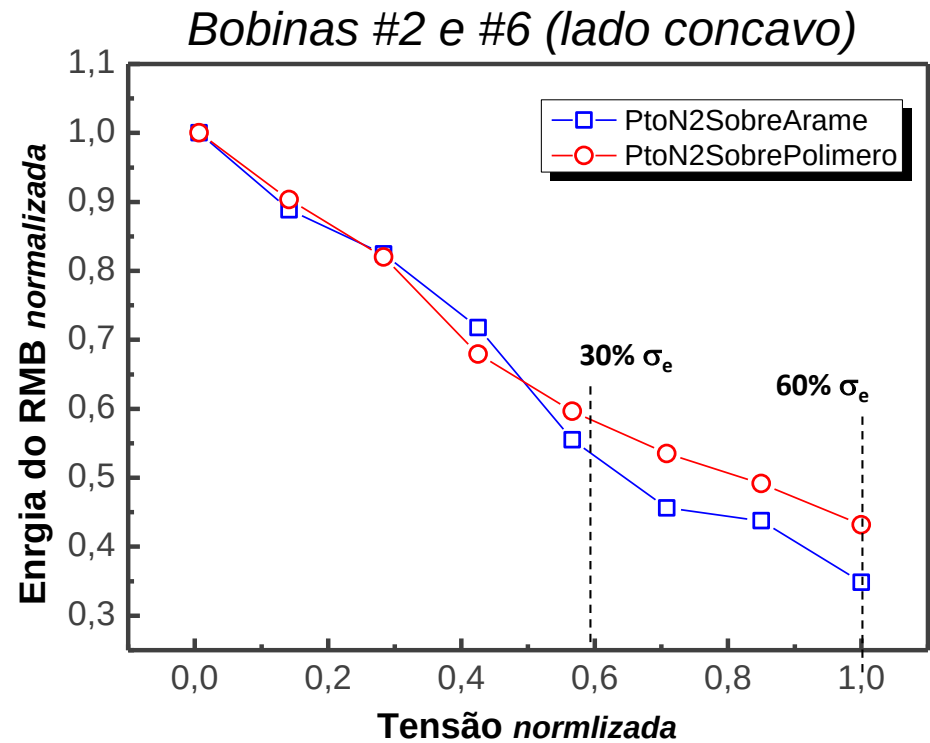
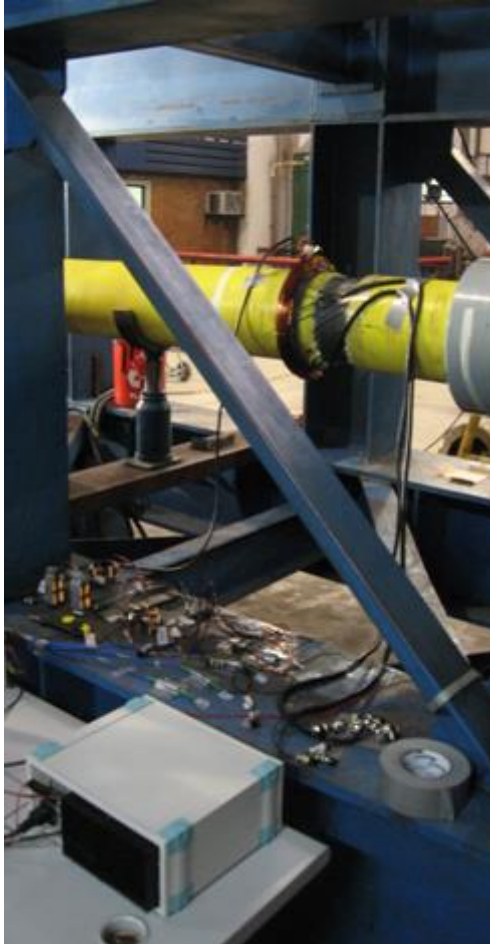


Reversão de Tensão Residual em Rodas Ferroviárias

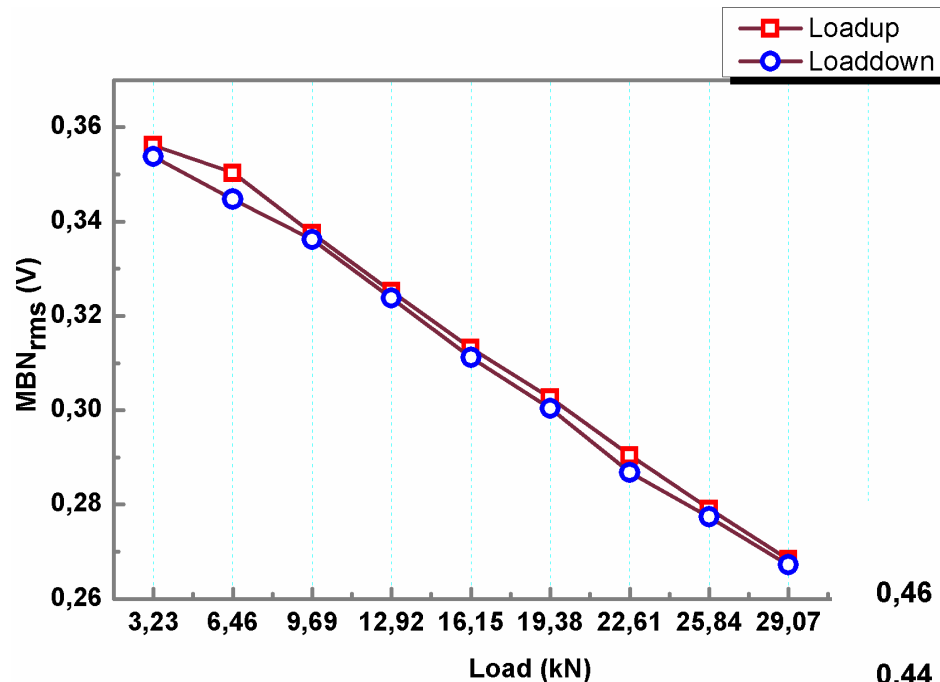


Tensão Aplicada e RMB

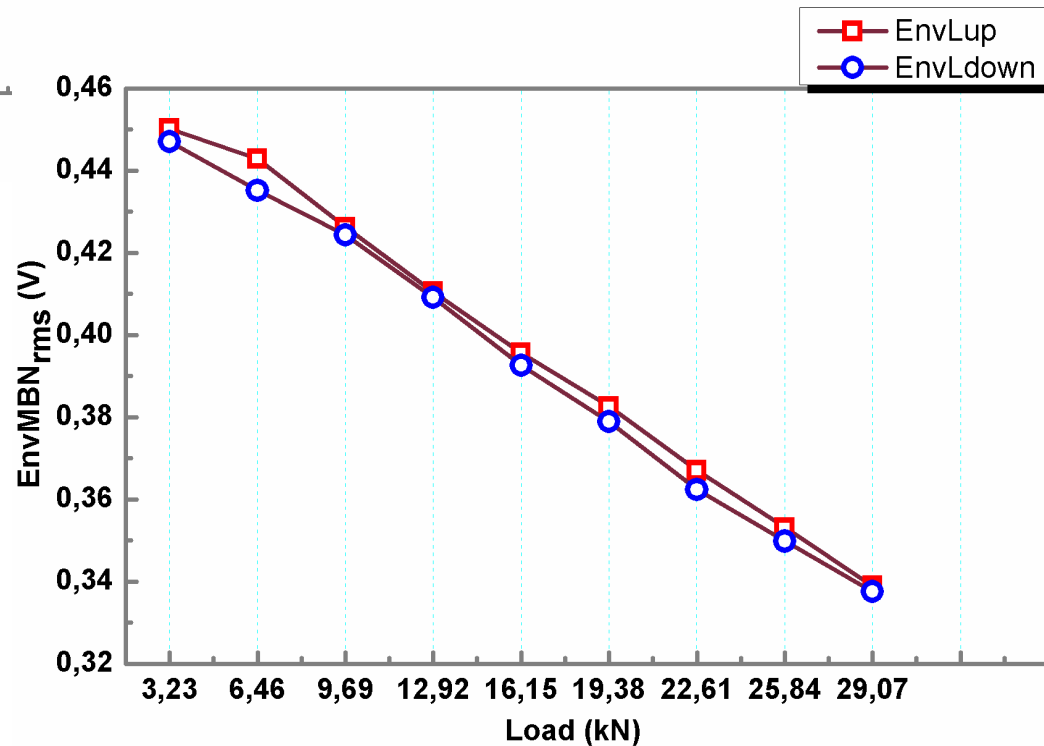
Monitoramento de Tensões em Risers



Repetitividade

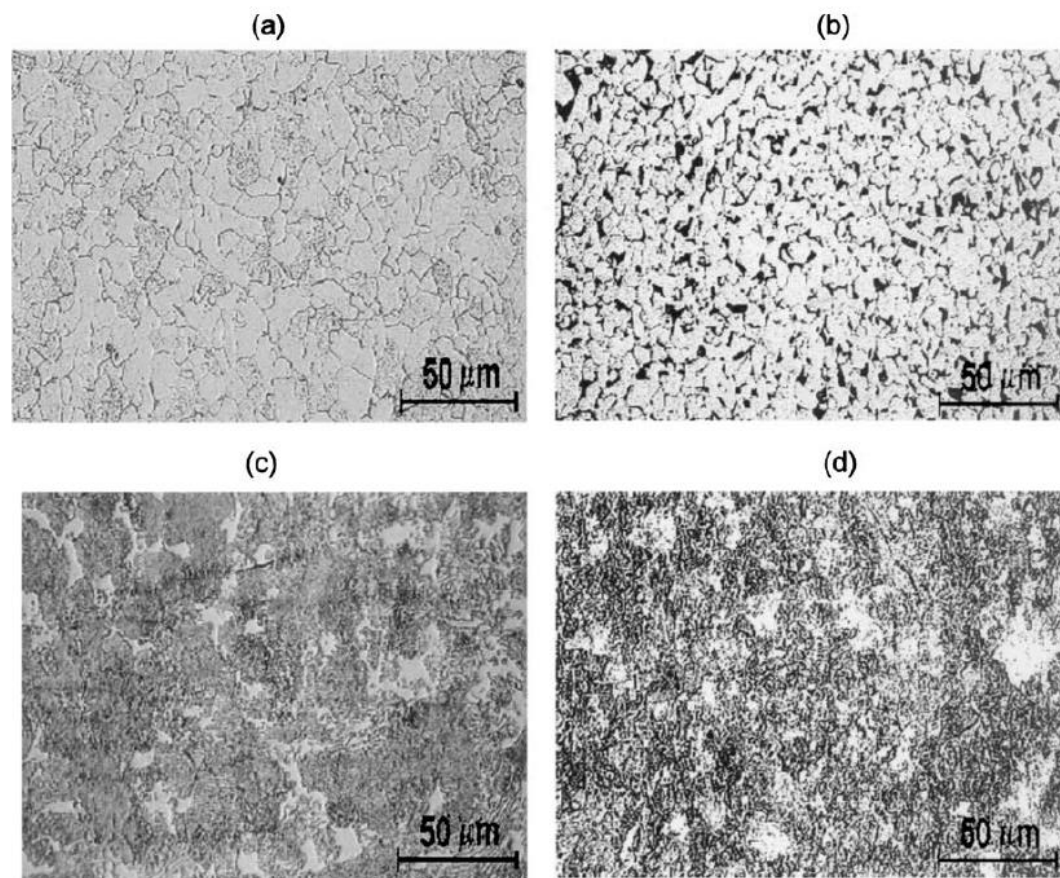


Ensaio de tração em amostra
de arame de duto flexível.
LAMEF-nov 2010



Dependence of the magnetic Barkhausen emission with carbon content in commercial steels

J. CAPÓ-SÁNCHEZ, J. A. PÉREZ-BENITEZ L. R. PADOVESE, C. SERNA-GIRALDO

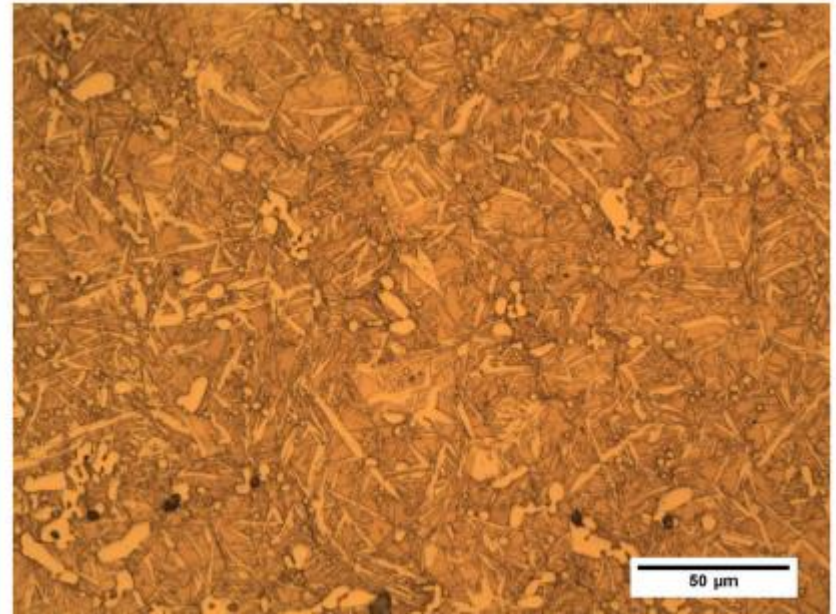
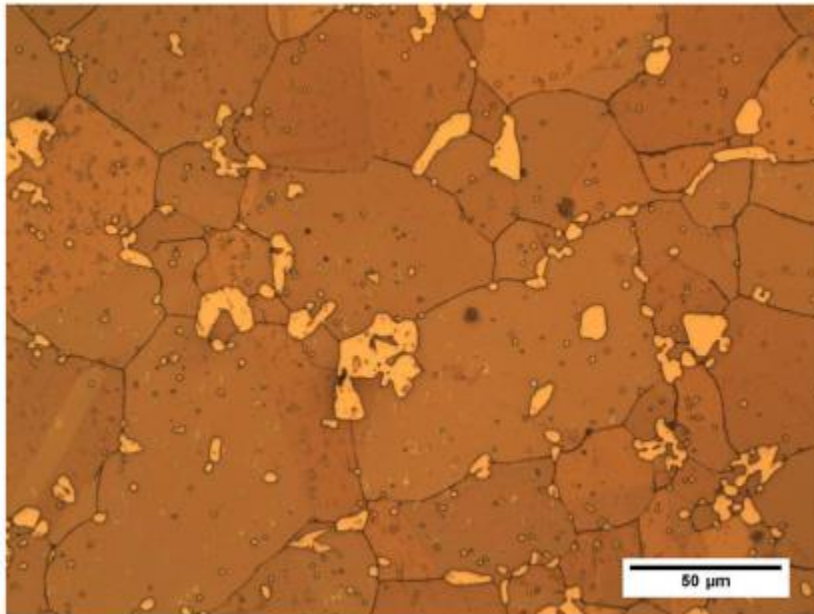


Sample	Heating temperature (°C)	Holding time (min)
1005	925	10
1020	925	10
1045	860	10
1070	830	10

Figure 1 Microstructures obtained by optic microscope: (a) 1005, (b) 1020, (c) 1045, and (d) 1070 steel samples.

Magnetic and spontaneous Barkhausen noise techniques used in investigation of a martensitic transformation

J. Capò Sánchez, E. Hualpa, P. Farina, L. R. Padovese, and H. Goldenstein



Austenitized at 1473K and cooled to liquid nitrogen temperature

FIM

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert