

# SMM0330- PRINCÍPIOS DE ANÁLISE DE FALHAS EM COMPONENTES



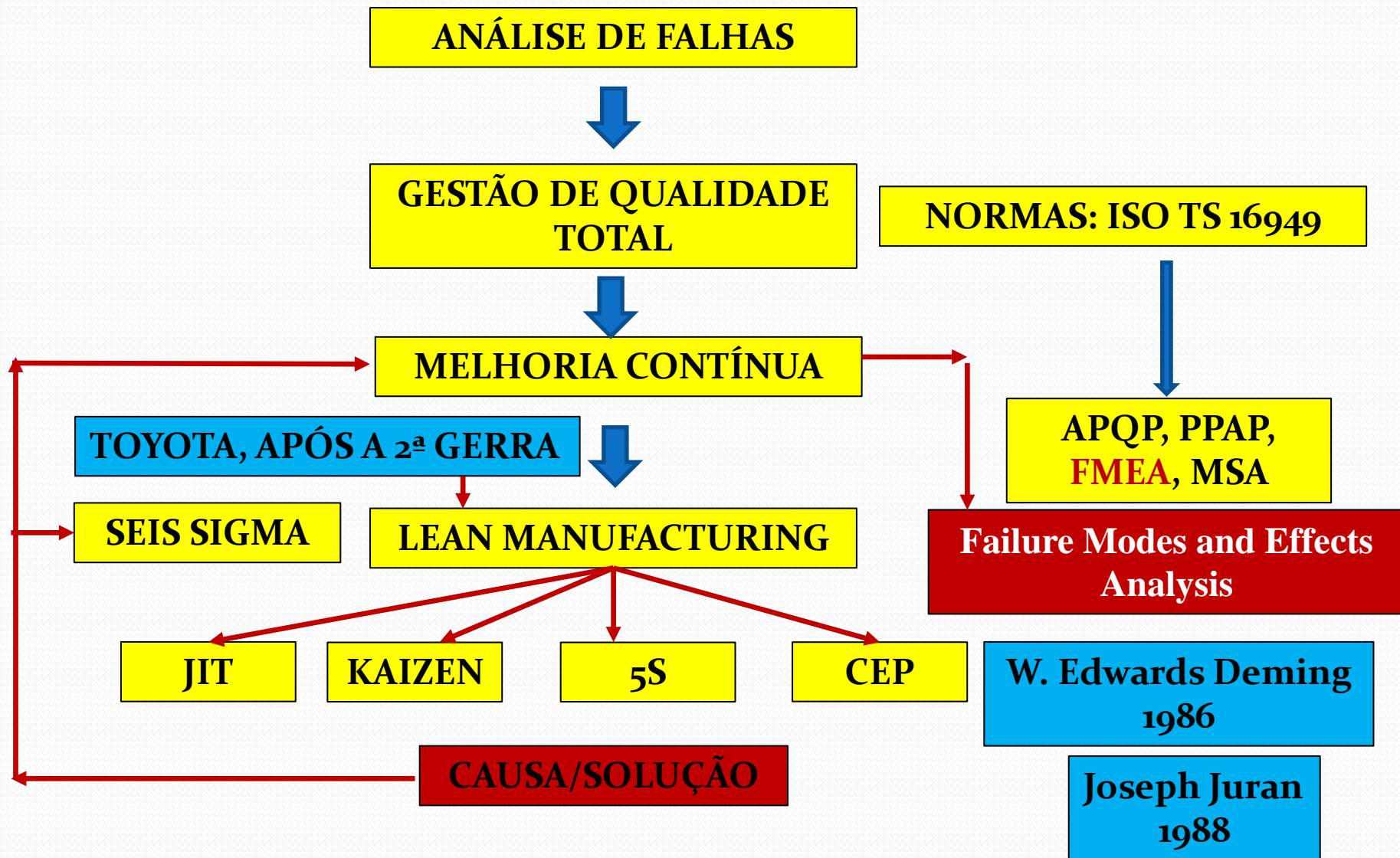
**Prof.Dr. José Benedito Marcomini**



- Trabalho investigativo em vários aspectos: histórico e a falha em si;
- Perícia forense, indústria, pesquisa;



- A maior parte das informações sobre uma fratura (caso particular de falha) é obtida por análise visual a olho “pelado” ou com um instrumento de no máximo 10 vezes de aumento.



**ANÁLISE DE FALHAS**



**ENCONTRO O  
PORQUÊ, MAS...**



**O QUE FAZER PARA EVITAR  
QUE OCORRA NOVAMENTE?**

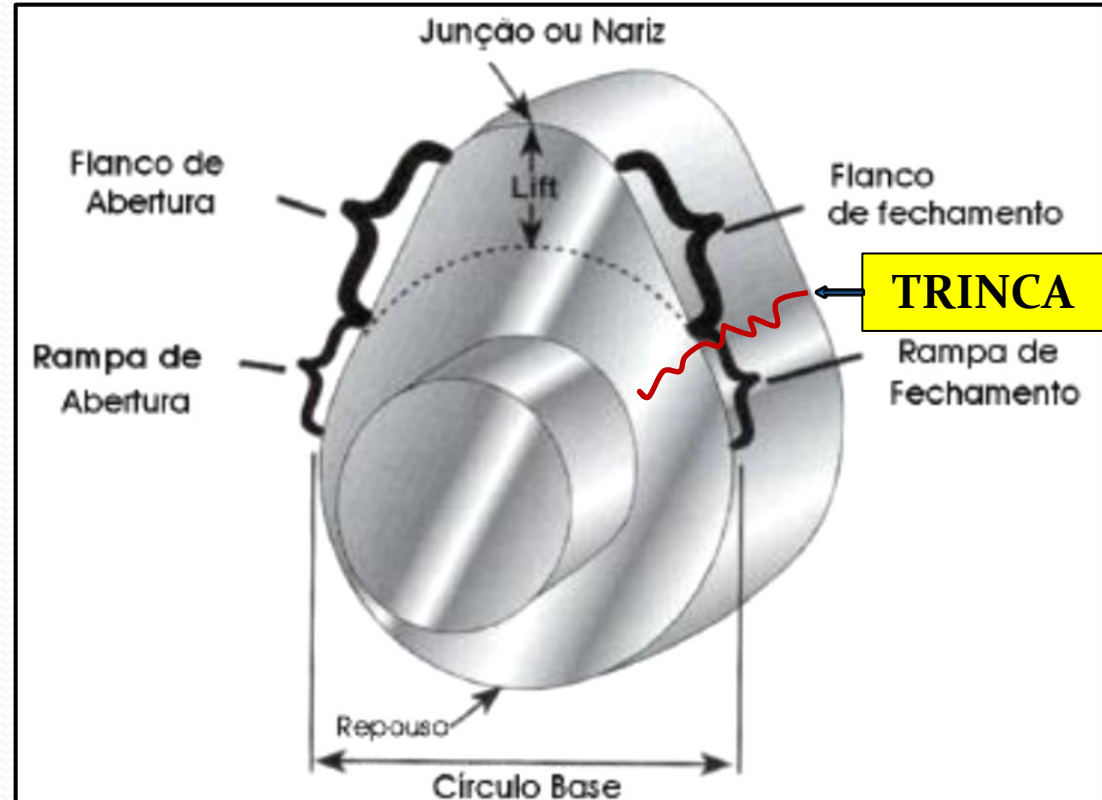
**EIXO COMANDO DE VÁLVULAS**



**FILME MOTOR**



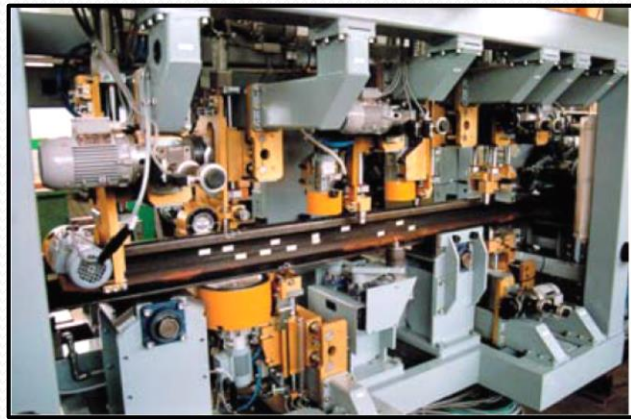
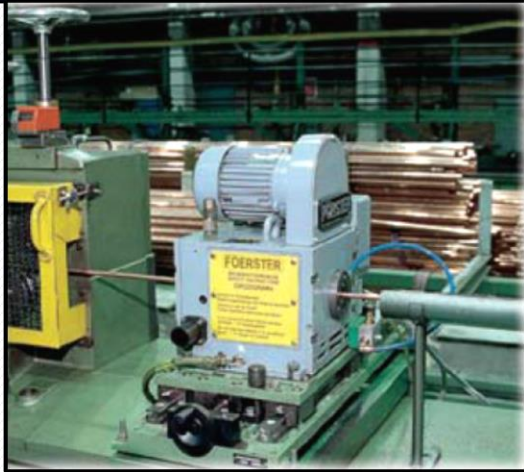
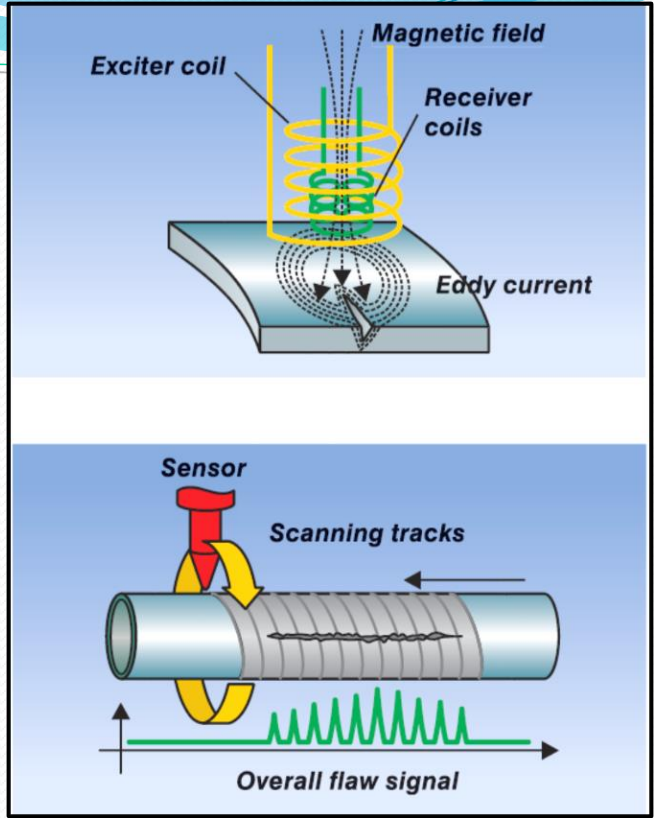
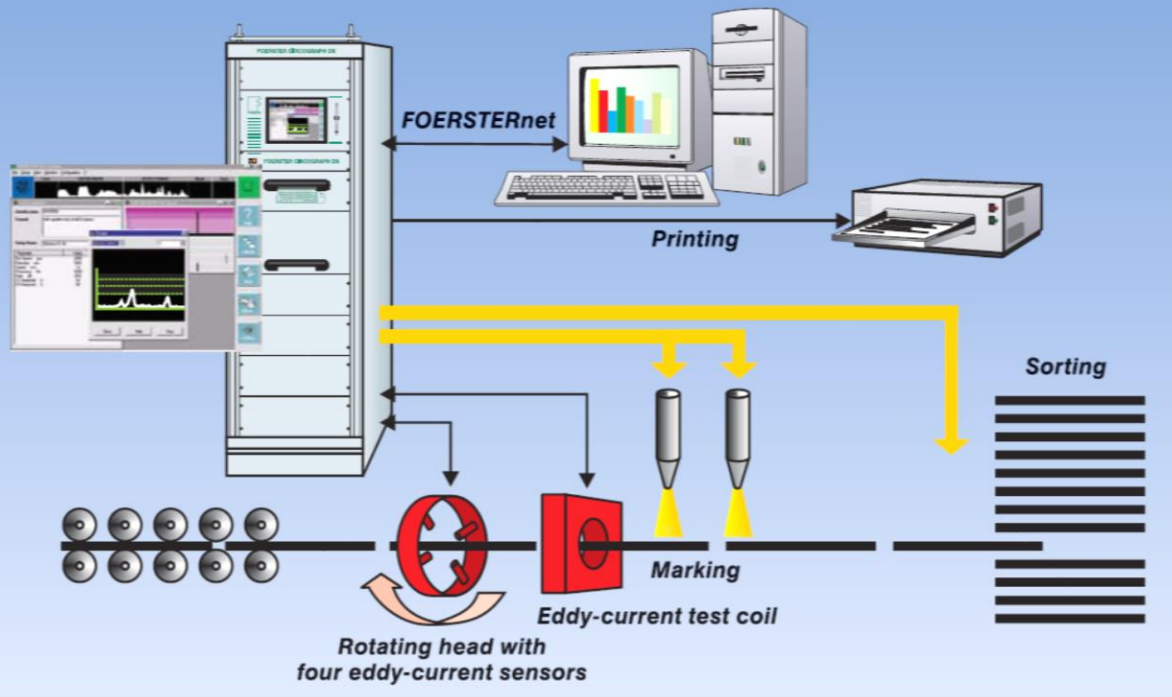
Eixo comando de válvula



Detalhes do came que é montado no eixo comando de válvula

- **Aço DIN 100Cr6, red. 28,00mm, descascado, fornecido pela Villares Mogi (Gerdau Aços Especiais);**
- **Produção: 4.000 peças por hora em máquina automática de forjamento tipo Hatebour ou Sakamura;**
- **Exportação mensal: 3.000.000 peças;**
- **Foram encontradas 3 peças trincadas na montagem: 1ppm de defeitos, porém a especificação: zero defeitos (qualidade assegurada);**
- **A empresa foi obrigada a gastar 130.000 dólares para manter inspeção 100% fora do país (México e Alemanha), na linha de montagem da montadora;**
- **Foi montado um grupo de estudos com Engenheiros da empresa e do fornecedor de aço;**
- **Foram testadas barras rejeitadas no “circograph” e foram produzidos defeitos em barras (riscos, cortes) para forjamento automático;**
- **Após o forjamento das barras rejeitadas e com defeito provocado, a trinca não apareceu...**

# Circograph- Eddy current





### **AÇÕES (MESMO SEM SABER A CAUSA):**

- **Aumento do descarte após circograph: mín de 57mm;**
- **Aumento do diâmetro da barra antes do descascamento;**
- **Análise do impacto da falha pelo FMEA;**
- **Introdução das ações no procedimento de fabricação.**

**MICROTRINCAS SUPERFICIAIS NAS BARRAS LAMINADAS - 2003**

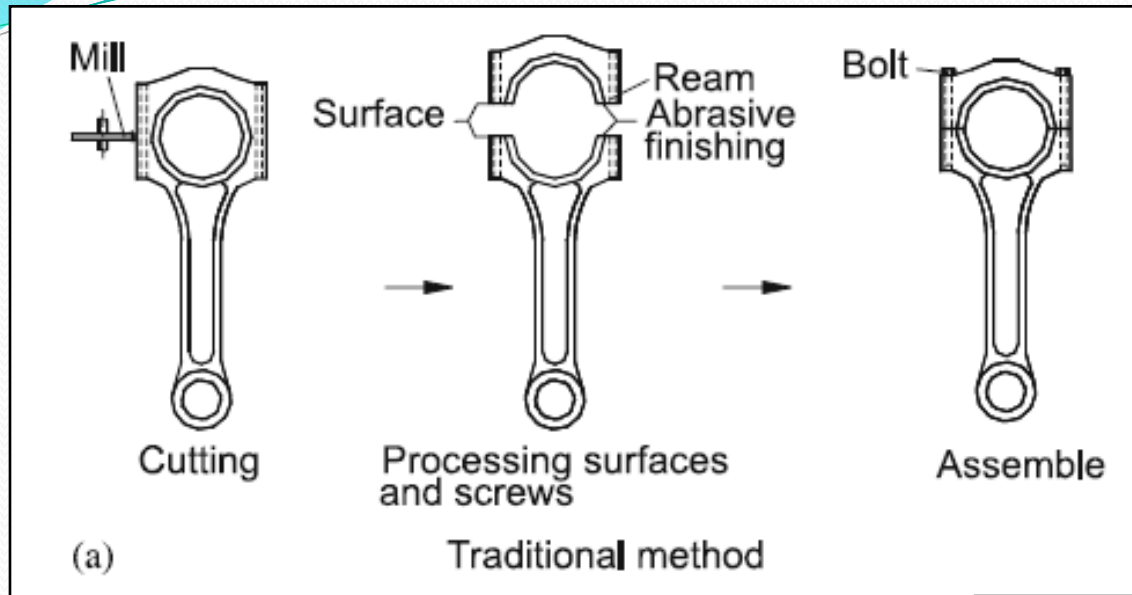
**CAUSAS:**

- **Adesão de carepa;**
- **Geratriz: trincas de fadiga térmica do cilindro de “Blooming” (as trincas apresentavam um padrão repetitivo na barra).**

**AÇÕES:**

- **Adesão de carepa: regulagem do descarepador e verificação/alteração na atmosfera do forno de reaquecimento ;**
- **Trincas de fadiga: aumento da frequência de inspeção;**
- **Análise do impacto da falha pelo FMEA;**
- **Introdução das ações no procedimento de fabricação.**

## PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BIELA

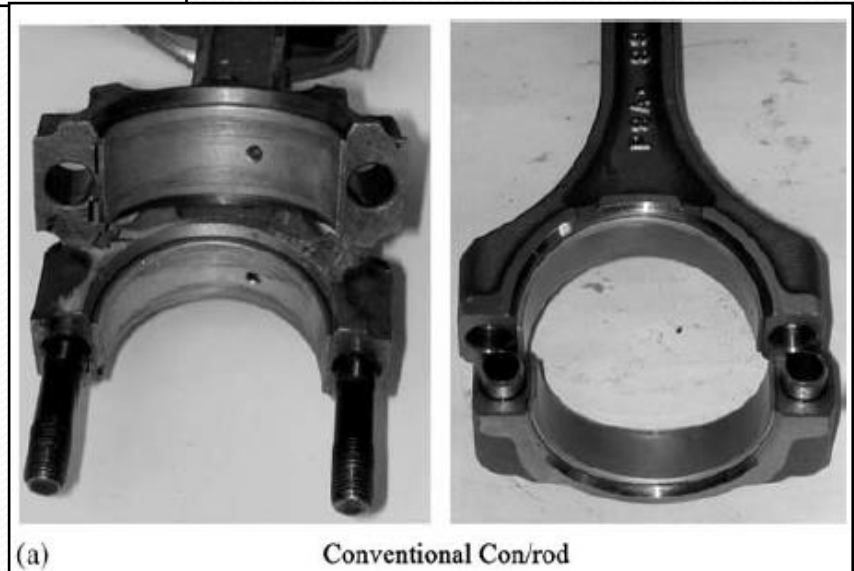


## MÉTODO TRADICIONAL:

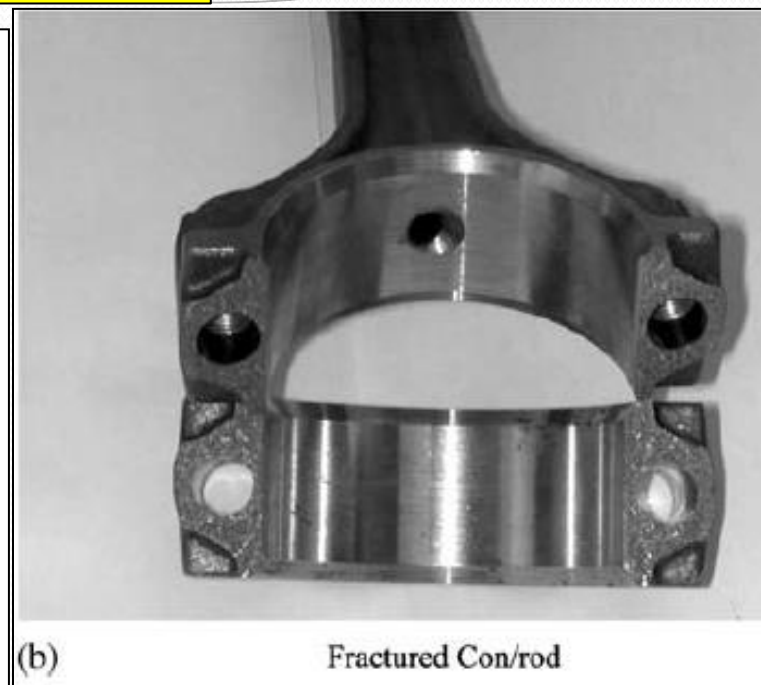
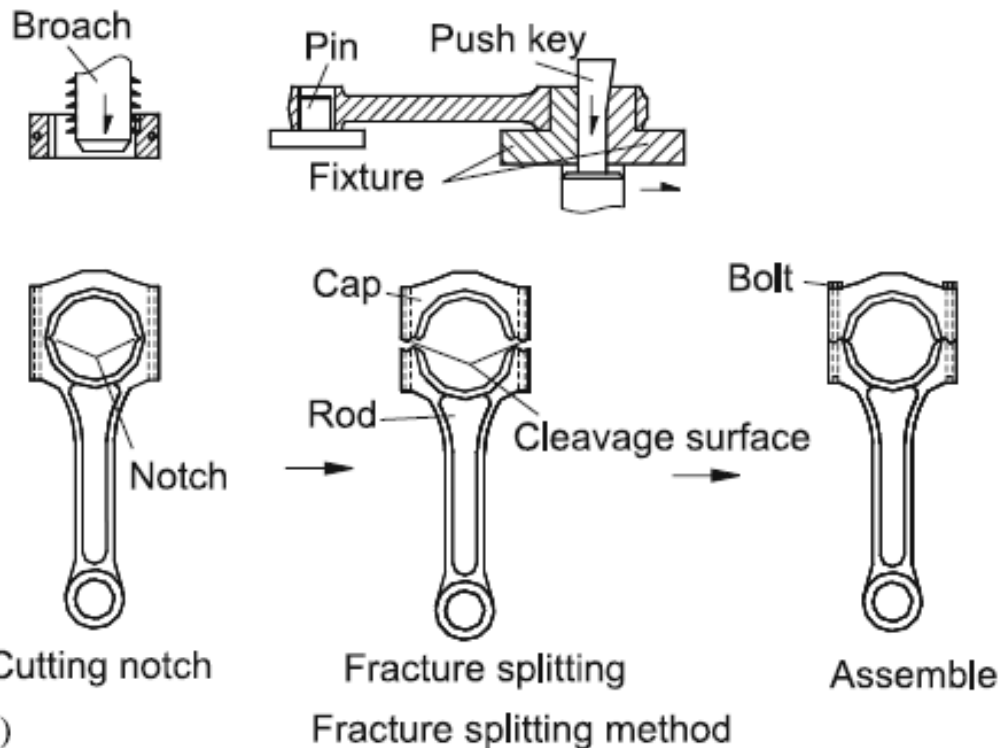
- CORTE,
- ACABAMENTO POR
- USINAGEM;
- MONTAGEM.

## DESVANTAGENS:

- PERDA DE MATERIAL;
- REBARBA;
- DESALINHAMENTO.



**PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BIELA FRATURADA**



**MATERIAL DEVE SER ADEQUADO: PRINCIPAL PARÂMETRO DO PROCESSO**

**Table 1.** Chemical composition of fracture splitting steel (%)

Designation	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
C70S6BY	0.72	0.22	0.50	0.009	0.06 ~ 0.07	0.061	0.04

Int J Adv Manuf Technol (2005) 25: 883–887  
DOI 10.1007/s00170-003-2022-2

Z. Gu · S. Yang · S. Ku · Y. Zhao · X. Dai

**Fracture splitting technology of automobile engine connecting rod**

**PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BIELA FRATURADA**

**DIFICULDADES:**

**MATERIAL DEVE ATENDER OS REQUISITOS DE FADIGA, RESISTÊNCIA E DUTILIDADE PARA A APLICAÇÃO, ALÉM DE APRESENTAR: BOA USINABILIDADE, FRATURA FRÁGIL (POUCA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA), “FRAGILIDADE APROPRIADA”**

**FILME BIELA FRATURADA**

**EM TORNO DE 380KM DE ALTURA-FORA DA ATMOSFERA**



*A estação espacial Skylab em órbita.*



**SKYLAB – 1973-1979 – REDUÇÃO DO TEMPO ÚTIL PELA MAIOR ATIVIDADE SOLAR QUE EXPANDIU A ATMOSFERA.**



**A Conquista do Espaço: do Sputnik a Missão Centenário**  
Othon Cabo Winter e Antonio Fernando Bertachini De Almeida Prado

**MIR – 1986-2001**

**Estações espaciais**

ANTONIO FERNANDO BERTACHINI DE ALMEIDA PRADO E  
PETRONIO NORONHA DE SOUZA

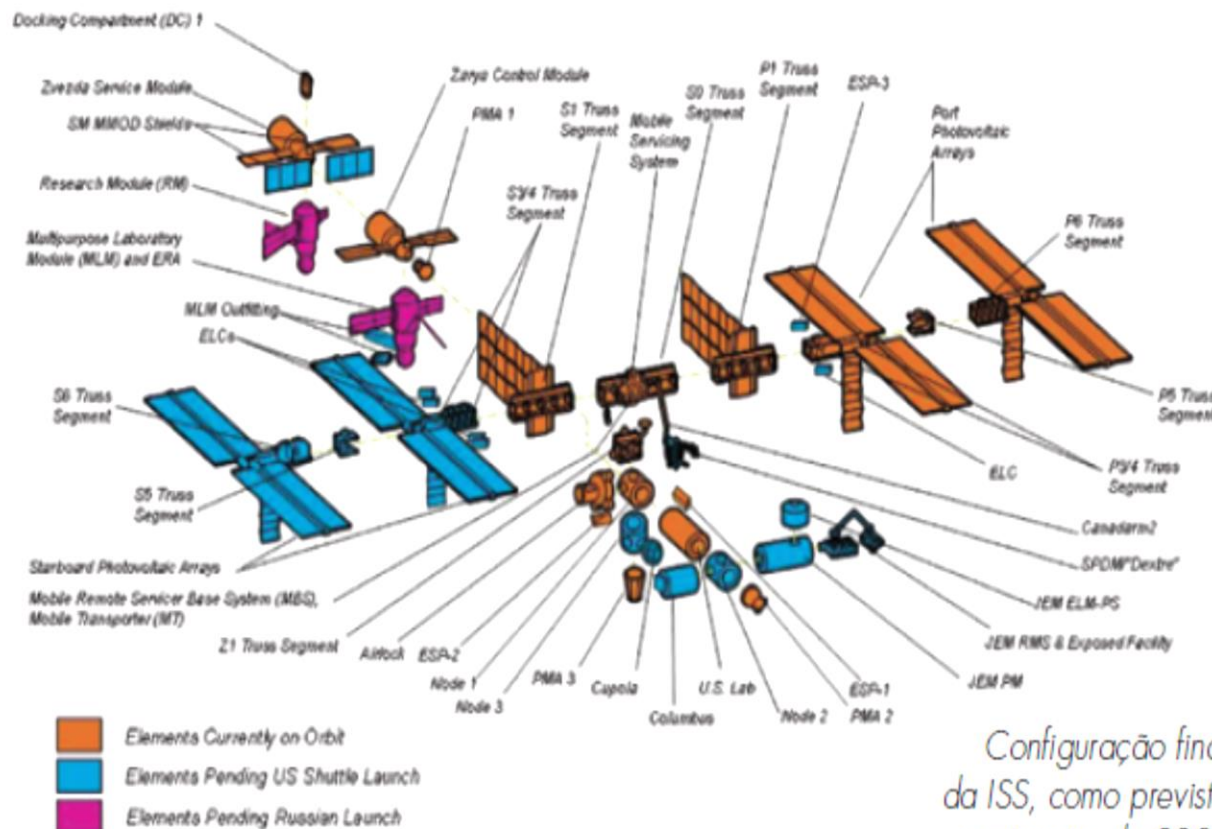


# ISS Configuration

As of January 2007

## Estações espaciais

ANTONIO FERNANDO BERTACHINI DE ALMEIDA PRADO E  
PETRÔNIO NORONHA DE SOUZA



Configuração final  
da ISS, como previsto  
em janeiro de 2007

A Conquista do Espaço: do Sputnik a Missão Centenário  
Othon Cabo Winter e Antonio Fernando Bertachini De Almeida Prado

**SÃO PROJETADAS COM PONTOS FRÁGEIS PARA FALHAR NA REENTRADA: PARTES MENORES COM MÍNIMO DE AERODINÂMICA- QUEIMAM NA ATMOSFERA.**



Facilita o cálculo de previsão de onde cairão as possíveis partes que não se queimarem (conservação de momento linear). Além disso, existe um procedimento de desativação e até propulsão da estação no local preferencial de reentrada.

Figura 9.2: A explosão não afeta a trajetória do CM.



$$\vec{P}_x \text{ antes} = m \vec{v},$$

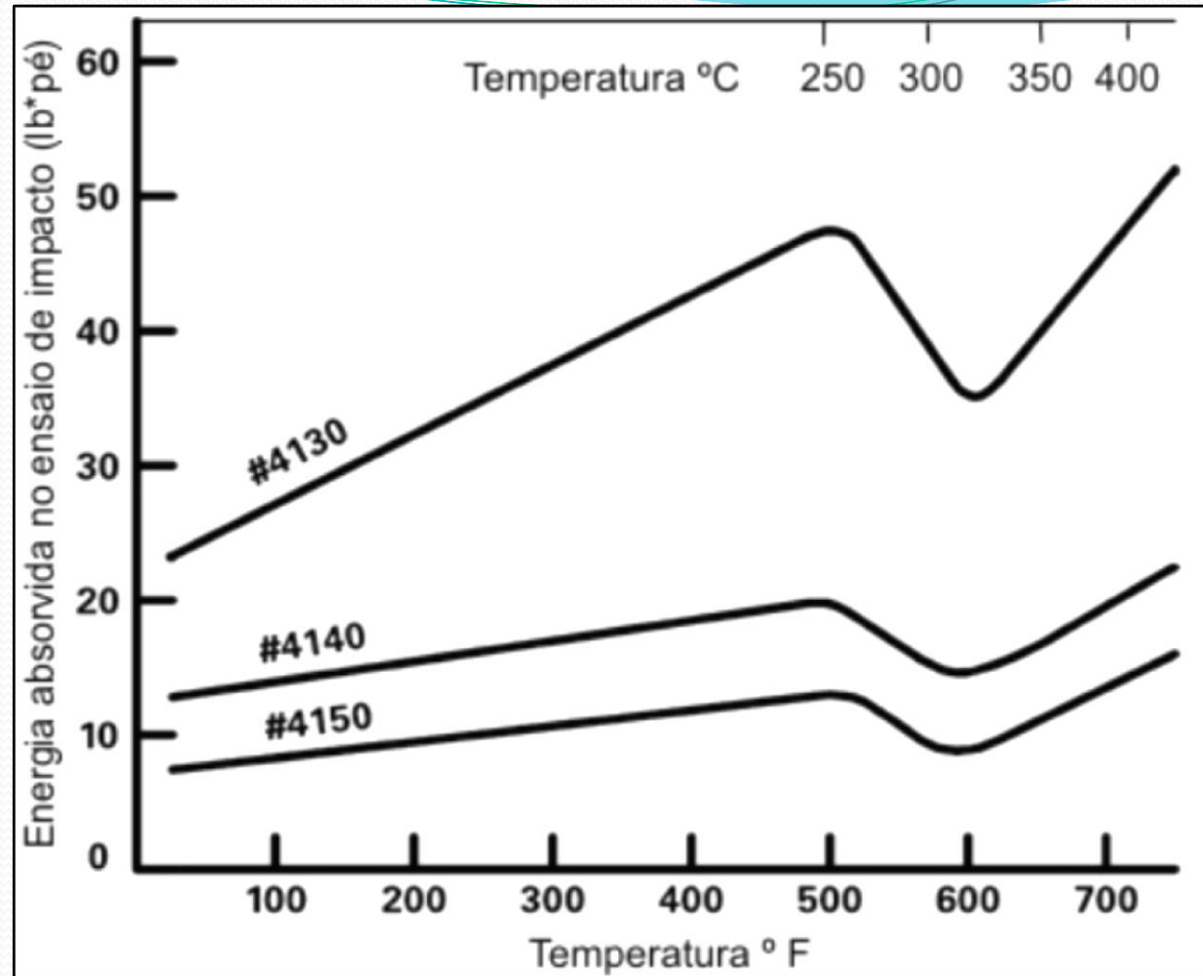
$$\vec{P}_x \text{ depois} = (M + m) \vec{V}.$$

Então,

$$m \vec{v} = (M + m) \vec{V} \Rightarrow \vec{V} = \frac{m}{M + m} \vec{v}.$$

# FRAGILIDADE AO REVENIDO OU FRAGILIDADE EM AZUL.

Color	Celsius
	216°
	221°
	227°
	232°
	238°
	243°
	249°
	254°
	260°
	266°
	271°
	277°
	282°
	288°
	293°
	299°
	310°
	321°
	332°
	338°
	343°



EXISTE UM ENSAIO PARA ANÁLISE DE **MACROINCLUSÕES**, BASEADO NESTE FENÔMENO: **ENSAIO DE FRATURA AZUL**.

	<b>AÇO</b> <b>DETERMINAÇÃO DE MACROINCLUSÕES</b> <b>PELO MÉTODO DE FRATURA AZUL</b>  Método de ensaio	01.029 <b>NBR 6346</b>  FEV/1986
--	---	---

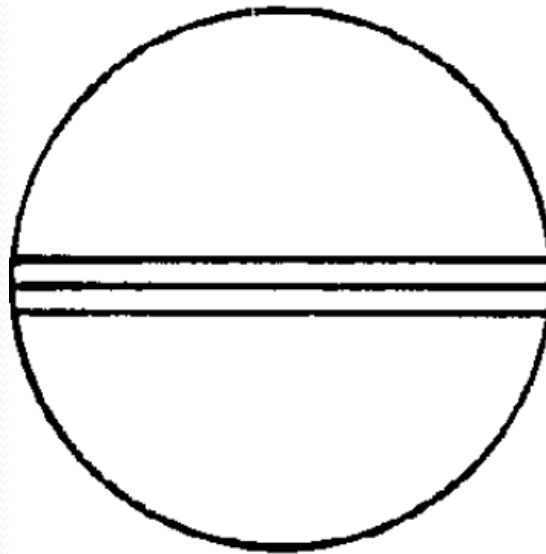
### 3 EXECUÇÃO DO ENSAIO

#### 3.1 Amostragem

3.1.1 A amostragem deve ser feita aleatoriamente ou por ultra-som, sendo aquela constituída no mínimo de seis amostras retiradas de uma corrida e esta no mínimo de três amostras retiradas de regiões com maiores indicações de ultra-som.

**Prof.Dr. José Benedito Marcomini**

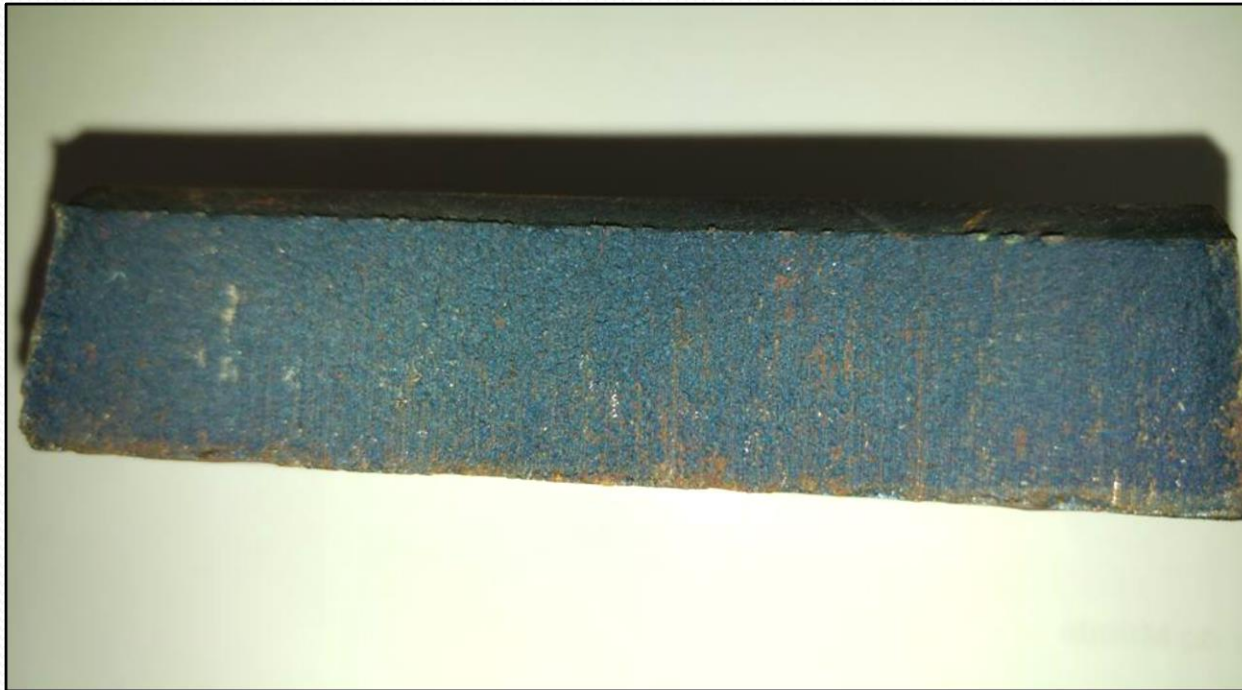
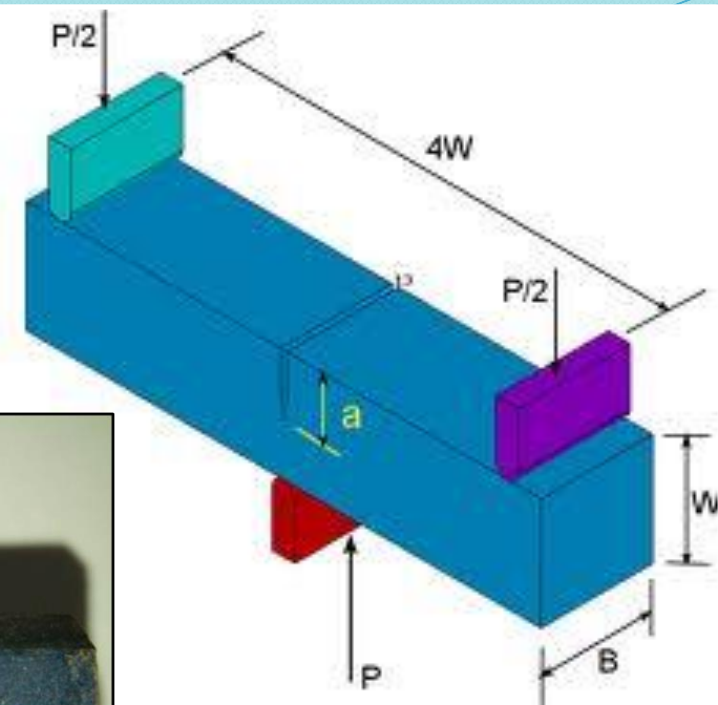
3.2.2 O corpo-de-prova deve sofrer um entalhe preferencialmente em "V", que passe pelos eixos transversais da amostra, conforme mostra a Figura 1. No caso da retirada de amostras selecionadas mediante ultra-som, o entalhe deve passar pela seção mais prejudicada. As amostras aleatórias devem ter o entalhe no sentido de uma das diagonais, a fim de que maior área seja examinada.



### 3.3 Procedimento

Na execução do ensaio deve ser cumprido o seguinte procedimento:

- a) aquecer os corpos-de-prova à temperatura de azul de revenimento (290 - 315°C);
- b) quebrar os corpos-de-prova, imediatamente após a retirada do forno, em uma prensa com dois apoios e cutelo, ao longo do corte;
- c) deixar a superfície fraturada esfriar ao ar. Esta superfície oxida-se, adquirindo uma coloração azul na superfície metálica da fratura. As inclusões não-metálicas conservam a sua cor clara;
- d) subdividir a superfície fraturada em quatro áreas, cada uma com 1/4 de extensão da fratura, conforme mostra a Figura 2;
- e) marcar adequadamente, de preferência por meio de riscos na face de corte do entalhe, os limites entre as quatro áreas;



**ENTRE 300-350°C, O ÓXIDO FORMADO TEM A COLORAÇÃO AZUL E COMO AS INCLUSÕES NÃO OXIDAM (LIGAÇÃO FORTE), FICAM BRANCAS E SE DESTACAM .**

**Prof.Dr. José Benedito Marcomini**



# **ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS**

## **REFERÊNCIAS:**

- **APOSTILAS-ABENDE-RICARDO ANDREUCCI;**
- **MATERIAL DA GE INSPECTION TECHNOLOGIES.**



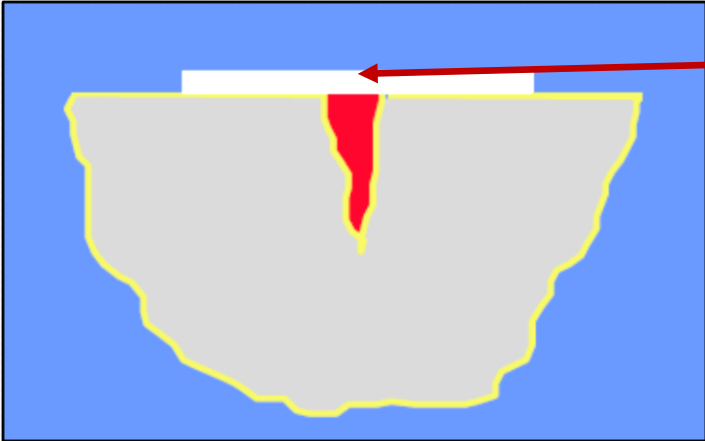
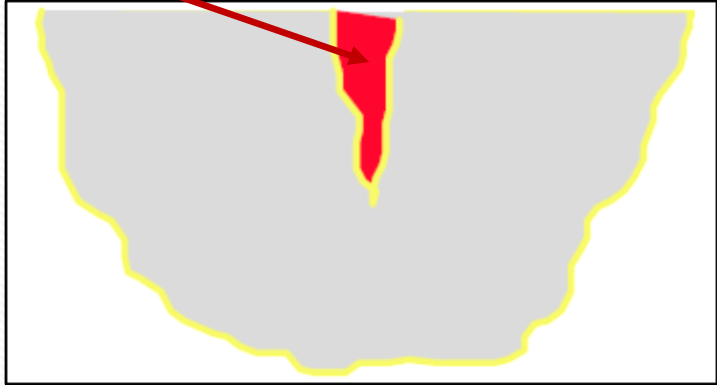
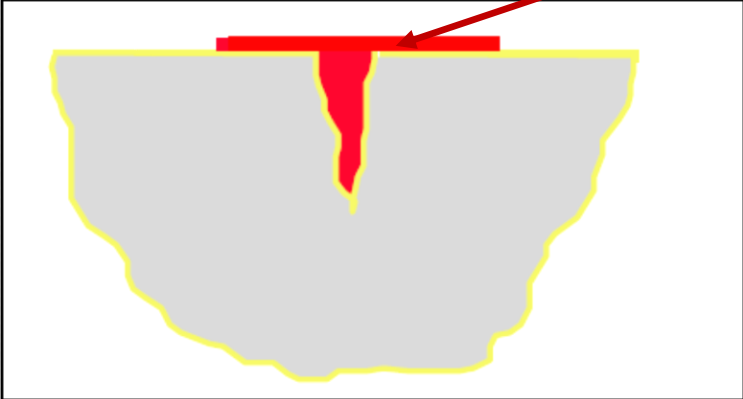
## **PRINCIPAIS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS:**

- **INSPEÇÃO VISUAL;**
- **LÍQUIDO PENETRANTE,**
- **ULTRASSOM;**
- **PARTÍCULAS MAGNÉTICAS;**
- **CORRENTES PARASITAS;**
- **INSPEÇÃO VISUAL REMOTA;**
- **RADIOGRAFIA INDUSTRIAL.**

# **APLICAÇÃO DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS:**

- RECEBIMENTO;**
- PROCESSO;**
- EXPEDIÇÃO;**
- INSPEÇÕES PERIÓDICAS EM SERVIÇO:  
MANUTENÇÃO PREVENTIVA/PREDITIVA.**

# LÍQUIDO PENETRANTE



**REVELADOR**



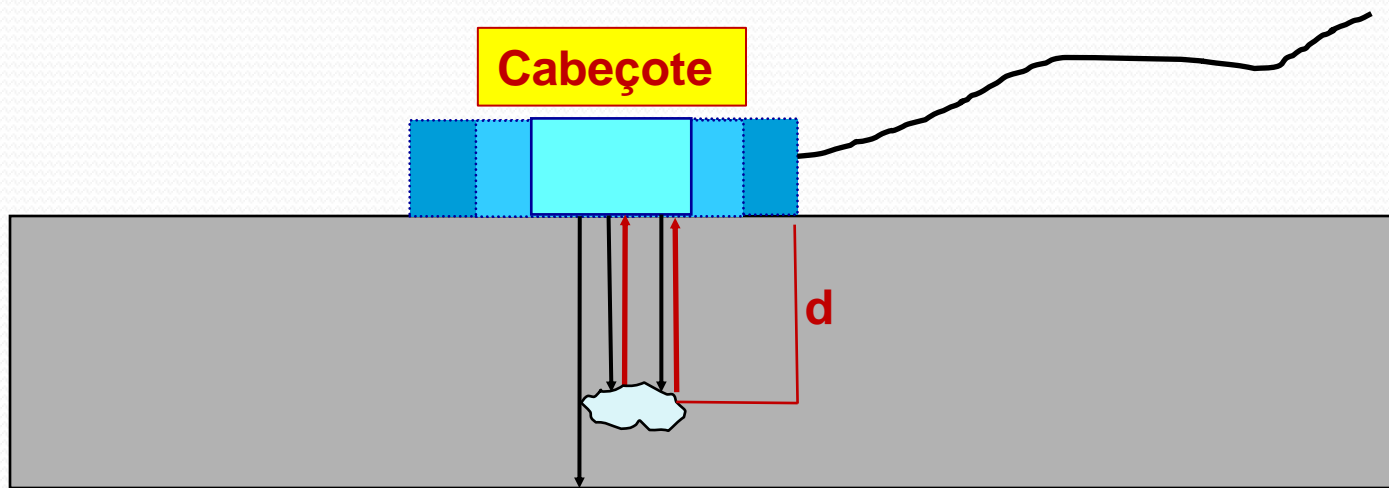
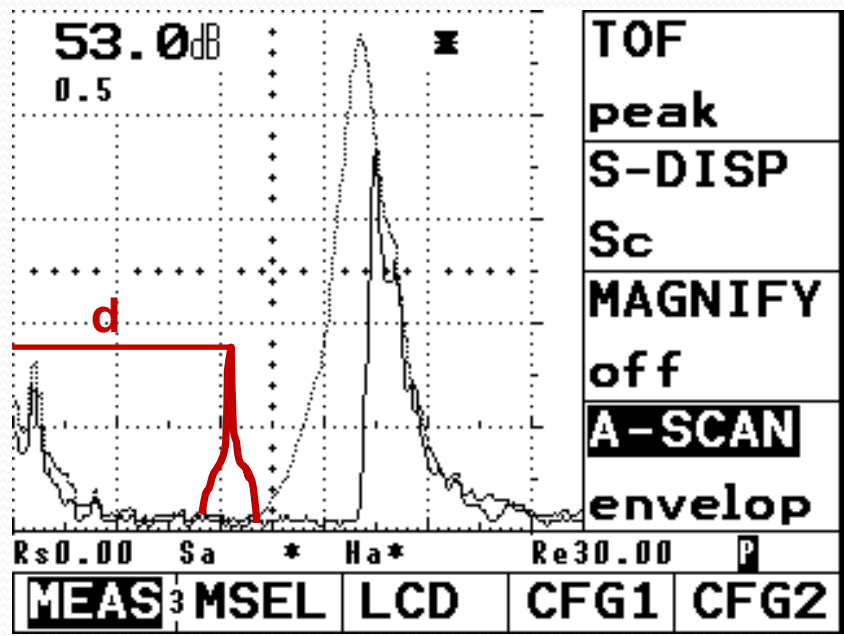
[www.inspbrasil.com.br](http://www.inspbrasil.com.br)

**Prof.Dr. José Benedito Marcomini**

## HISTÓRICO DO ULTRASSOM

- Bater nas rodas de trem com martelo;
- Após o desastre do Titanic **1912**;
- Sokolov, na Rússia em **1929**, experiências usando cristais de quartzo para introduzir vibrações ultrassônicas em materiais;
- O **primeiro aparelho de ultrassom** foi desenvolvido em **1942** por **Sproule**, Alemanha;
- Sokolov demonstrou que ondas ultrassônicas poderiam ser utilizadas em lugar dos raios-X para detectar descontinuidades em materiais;
- **Trost e Gots**, na Alemanha, e **Firestone**, nos **EUA**;
- 1947, Sproule desenvolveu o cabeçote angular.

# DETECÇÃO DA DESCONTINUIDADE – APRESENTAÇÃO A-SCAN



$$\Delta V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Mas o feixe ultrassônico **bate na interface metal/ar e volta:**

$$\Delta V = \frac{\Delta S}{2\Delta t}$$

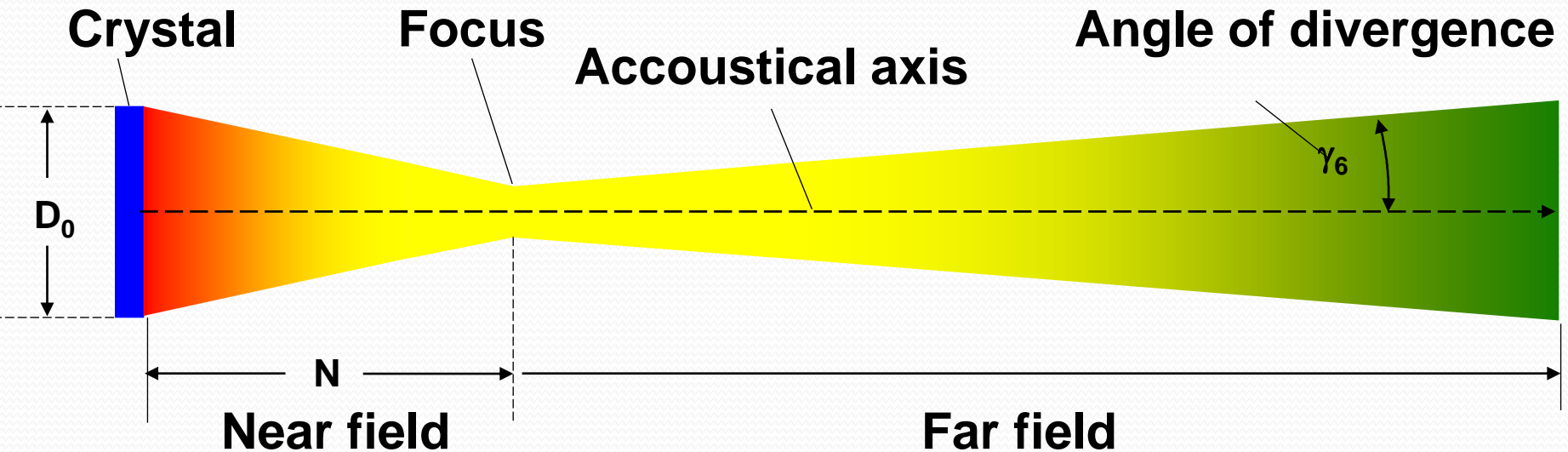
O **tempo** para gerar o **sinal** elétrico é  $t_0$ :

$$\Delta V = \frac{\Delta S}{2\Delta t + t_0}$$

$$\Delta V_{\text{aço}} = 5.920\text{m/s}$$

O equipamento mede o “**tempo de vôo**” (*time of flight*) e calcula a profundidade da **descontinuidade** ou do **final da peça (eco de fundo)**

# Sound field and divergence angle



$$N = \frac{D_{eff}^2 f}{4c}$$

$N$ =near field length

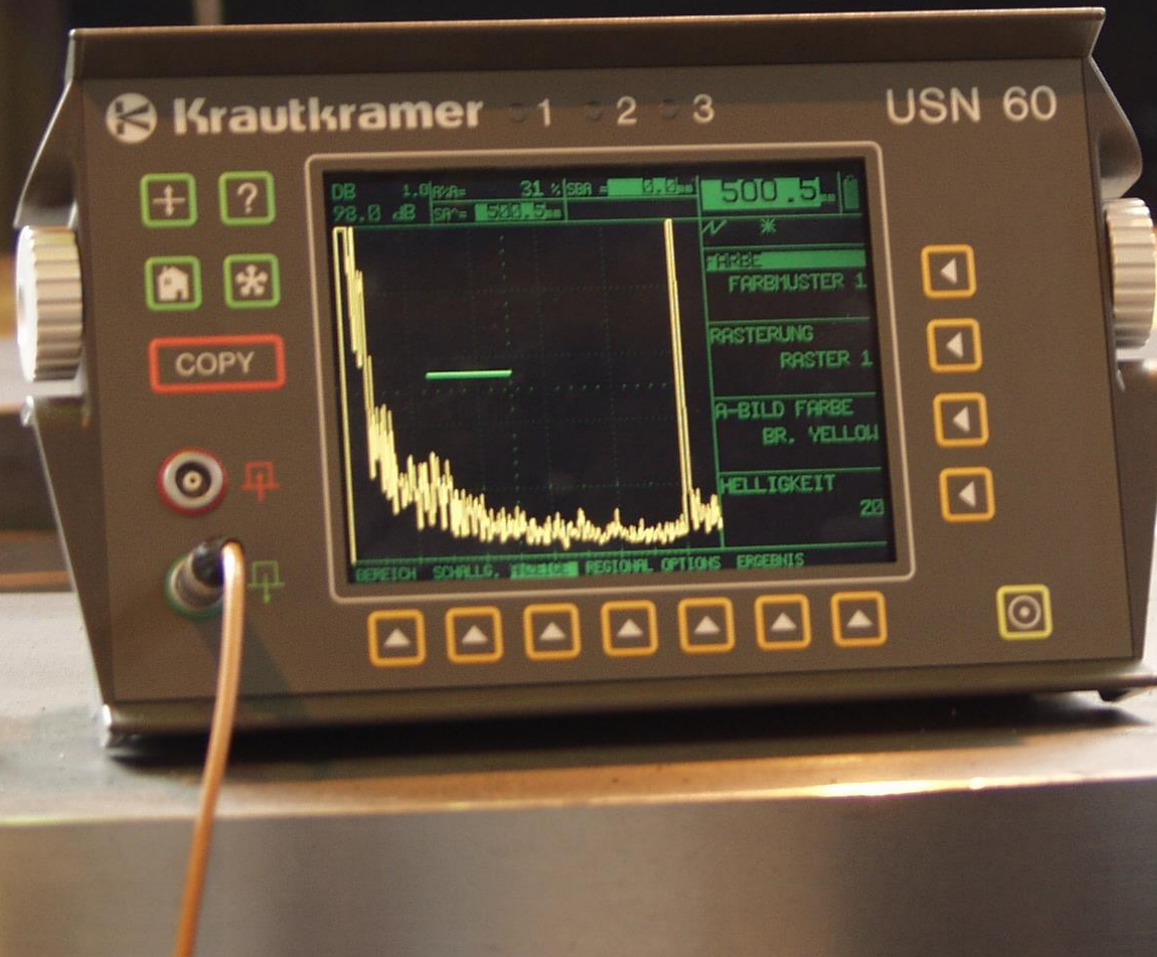
$$\sin \gamma_6 = 0.5 \frac{c}{D_{eff} f}$$

$\gamma_6$ = angle of divergence for amplitude drop to 50% (-6dB)

$$D_{eff} \approx 0.97 D_0$$



# USN 60



# EQUIPAMENTOS

## Dureza por ultrassom

MIC 10



MIC 20



# APLICAÇÃO

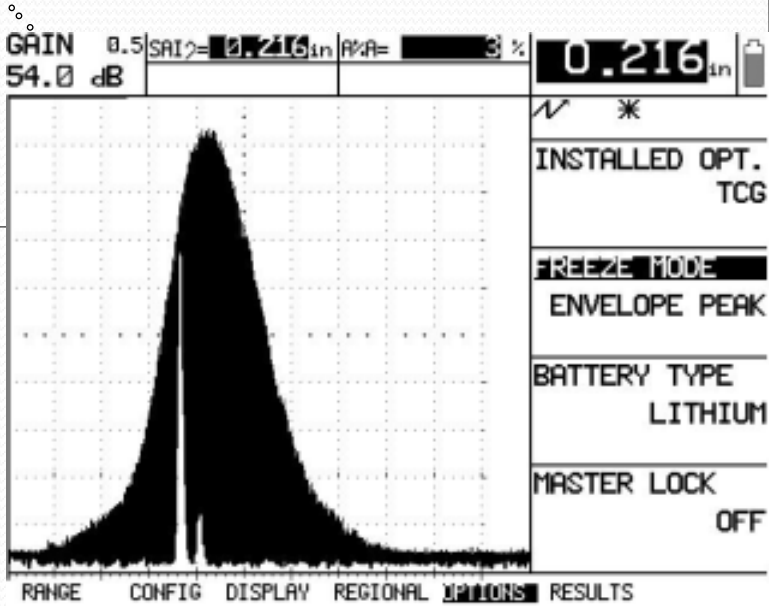
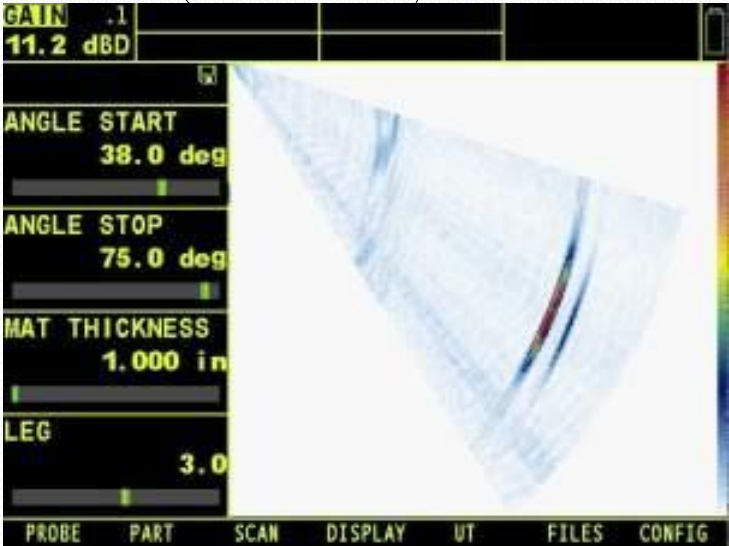
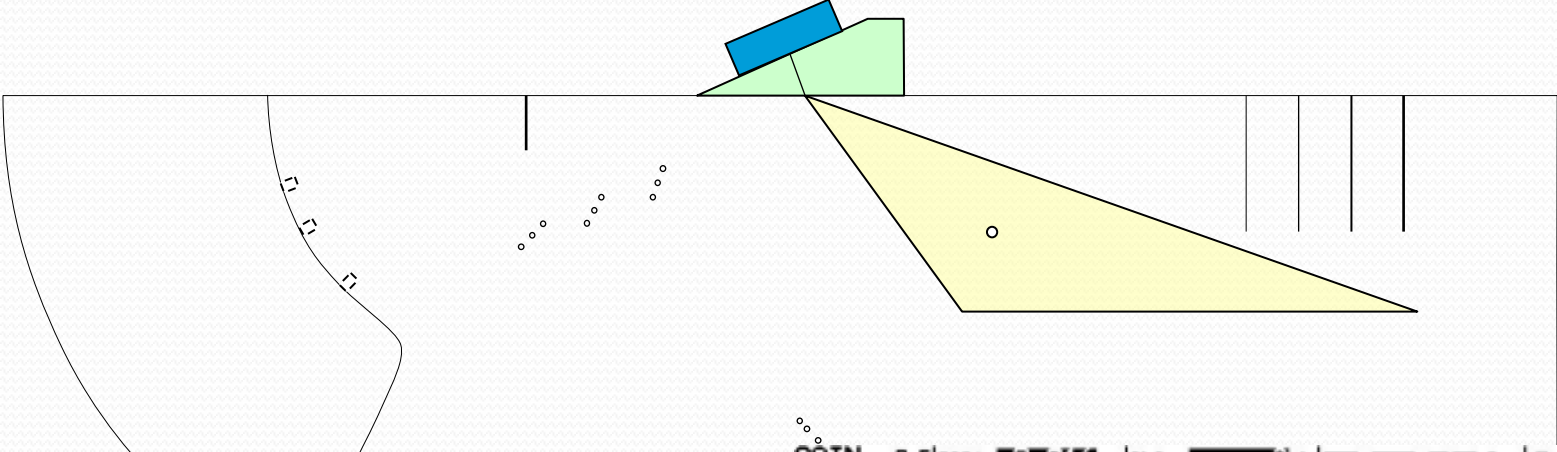


# MEDIDORES DE ESPESSURA POR ULTRASSOM

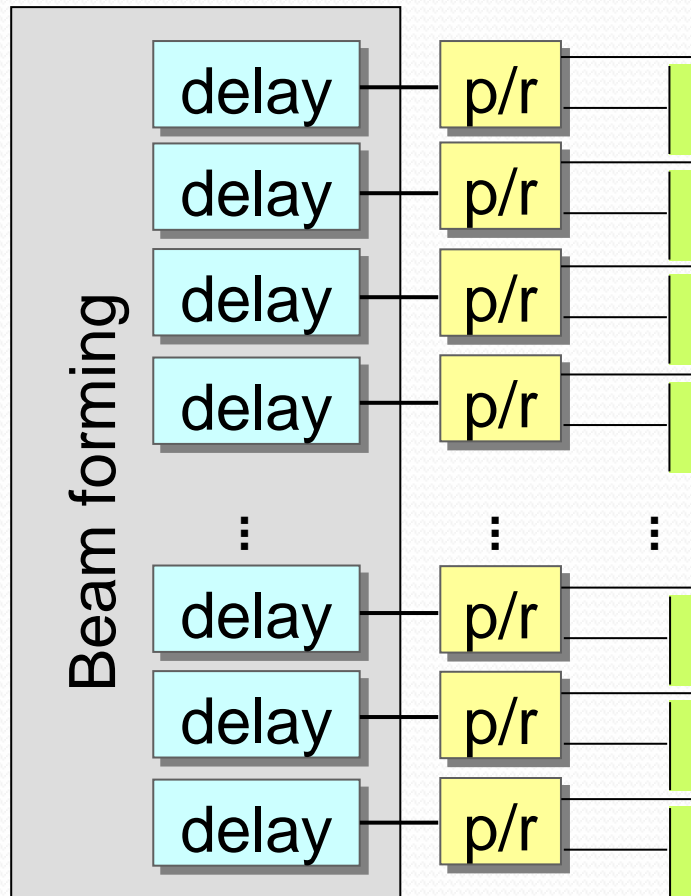


# PHASED ARRAY: "IMAGEM SÔNICA"

## TRANSDUTOR

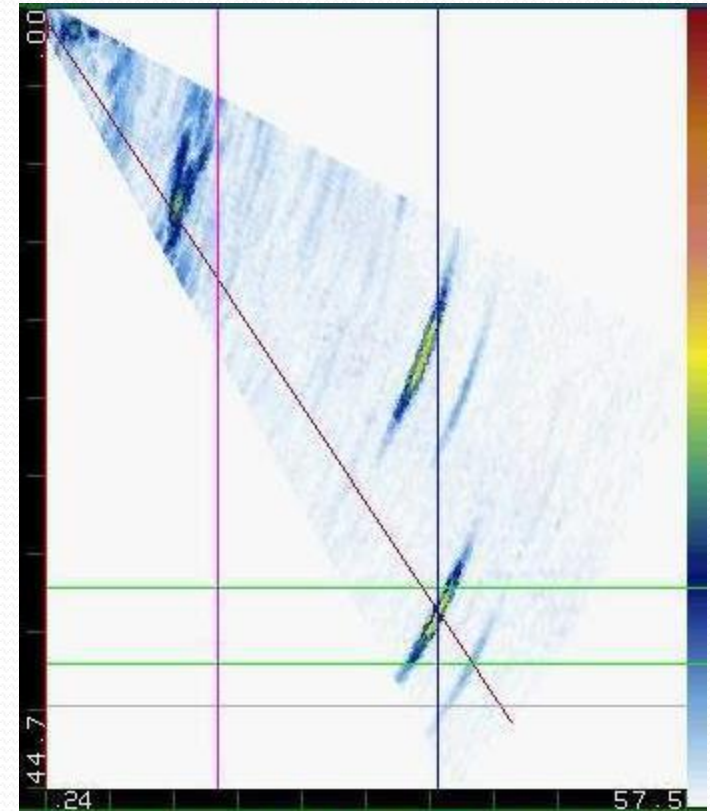
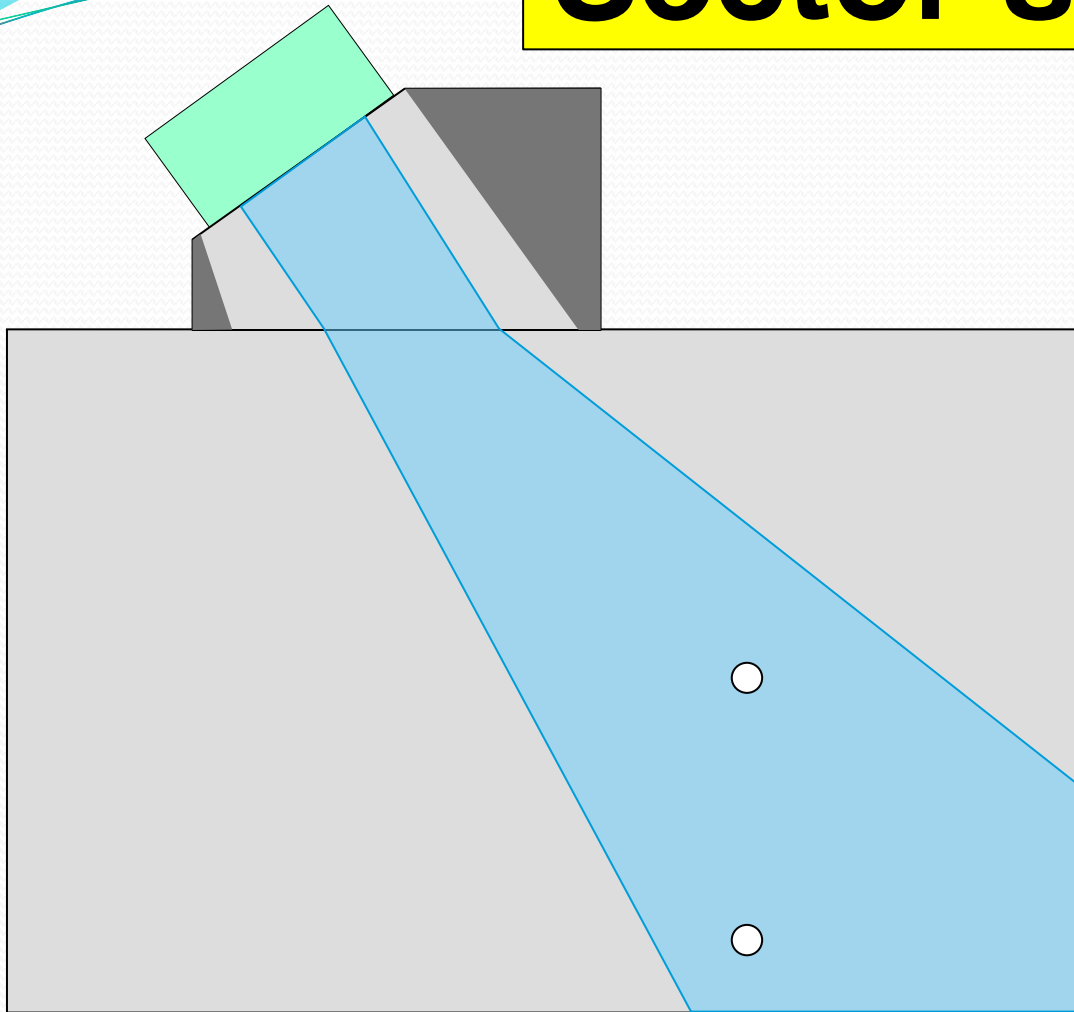


# PHASED ARRAY: UM CABEÇOTE COM VÁRIOS CRISTAIS TRANSDUTORES EXCITADOS EM DIFERENTES MOMENTOS



Phased Array

# Sector scan

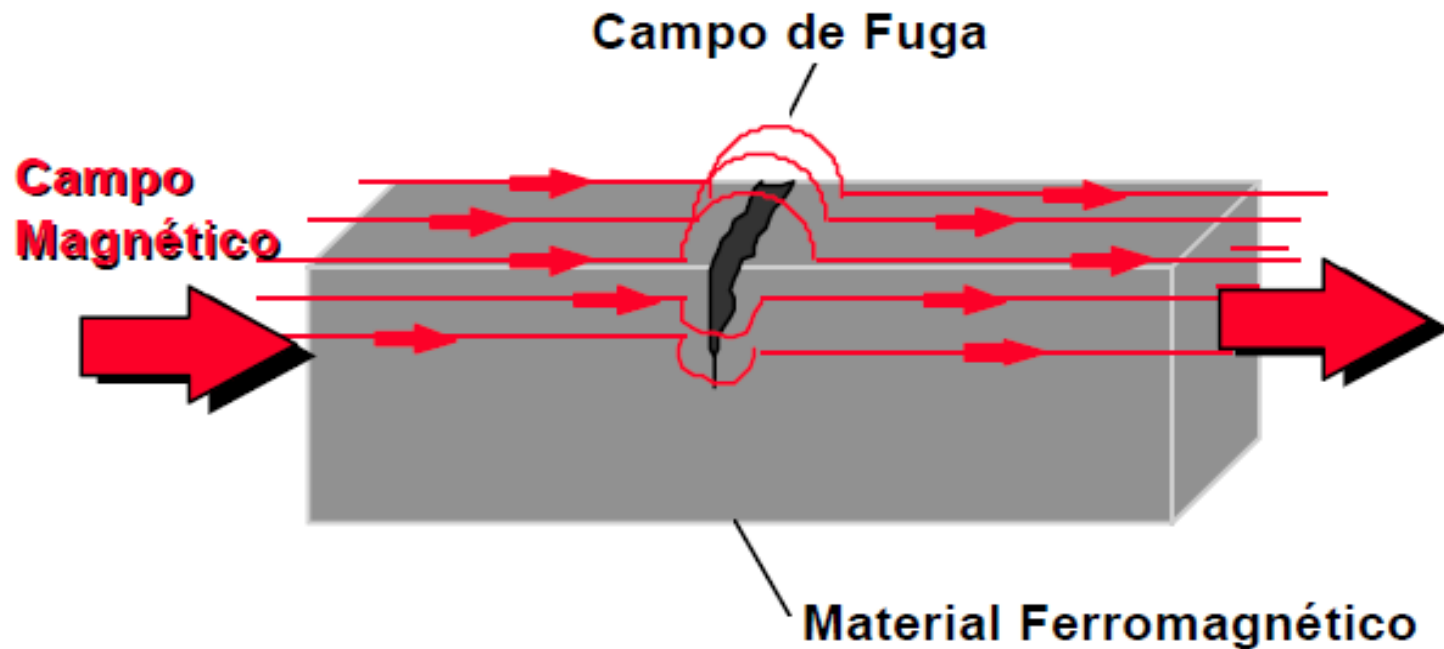


Linear to 256 elements

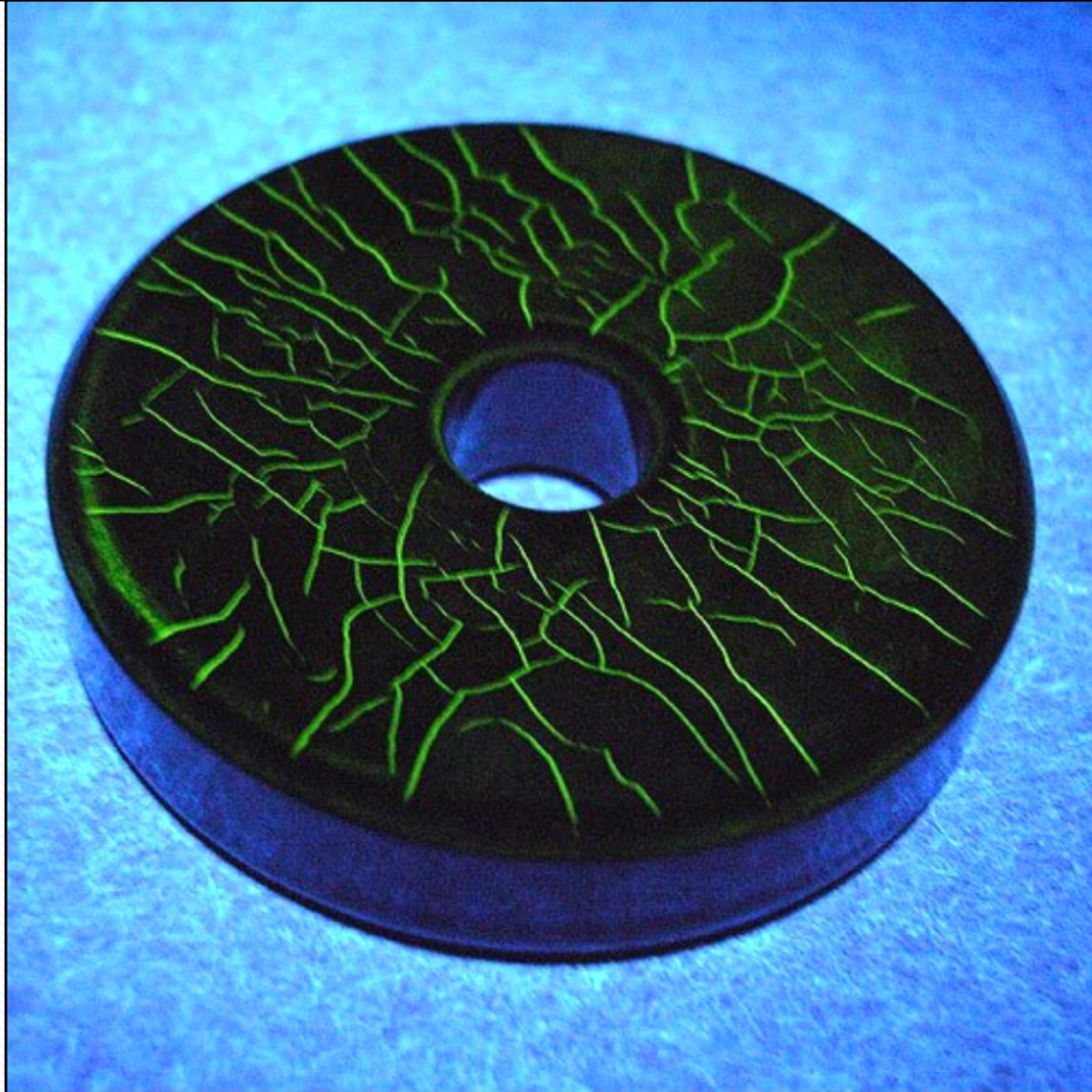




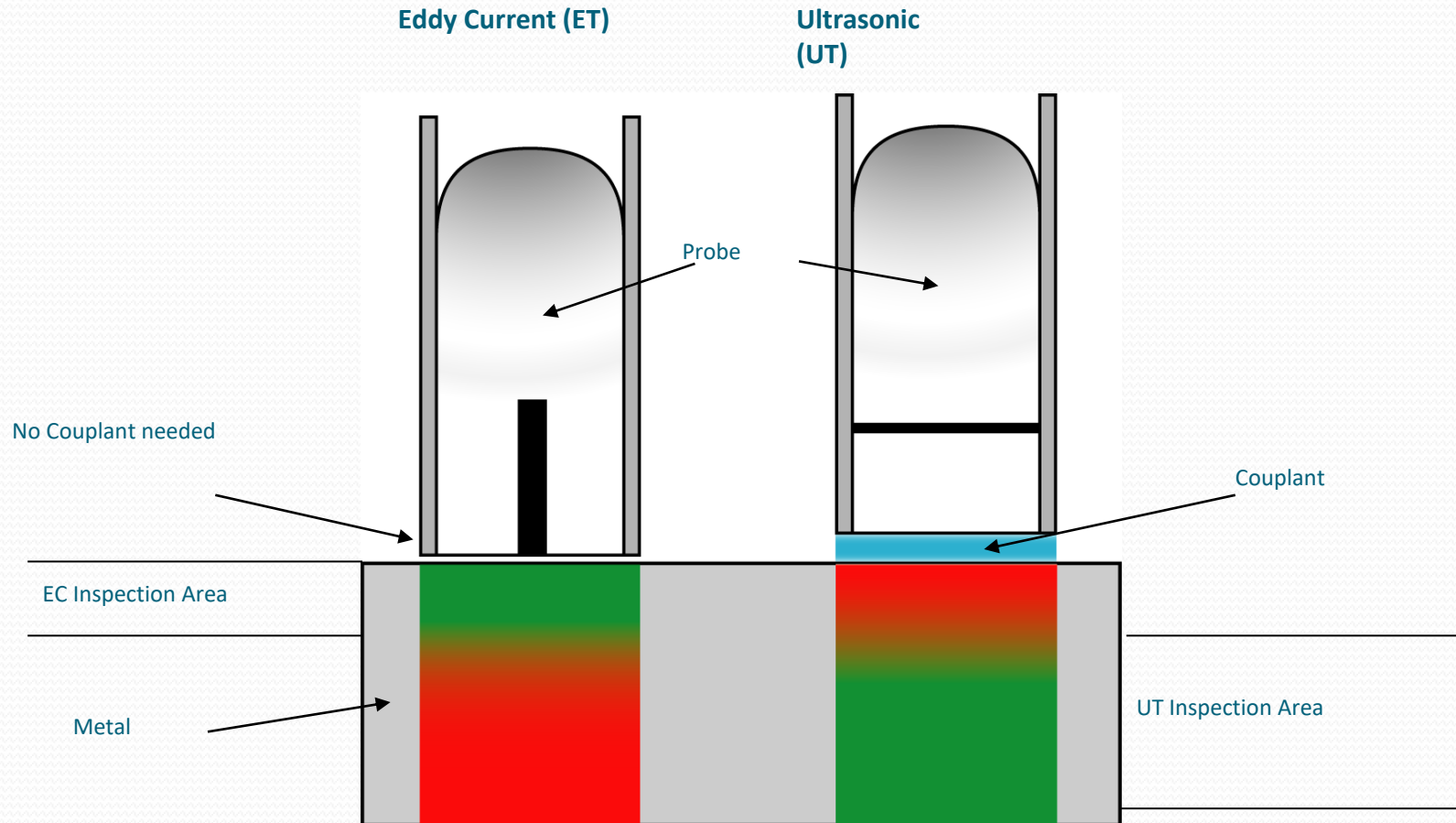
# PARTÍCULAS MAGNÉTICAS “MAGNAFLUX”



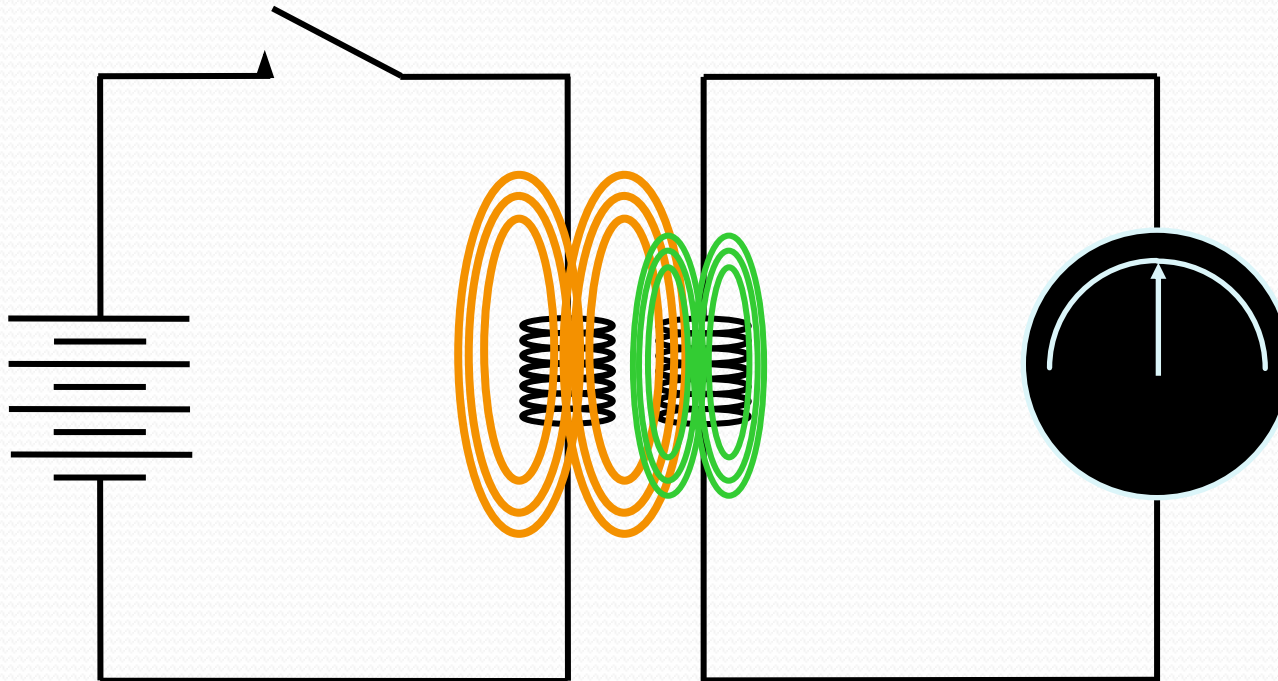
# PARTÍCULAS MAGNÉTICAS FLUORESCENTE



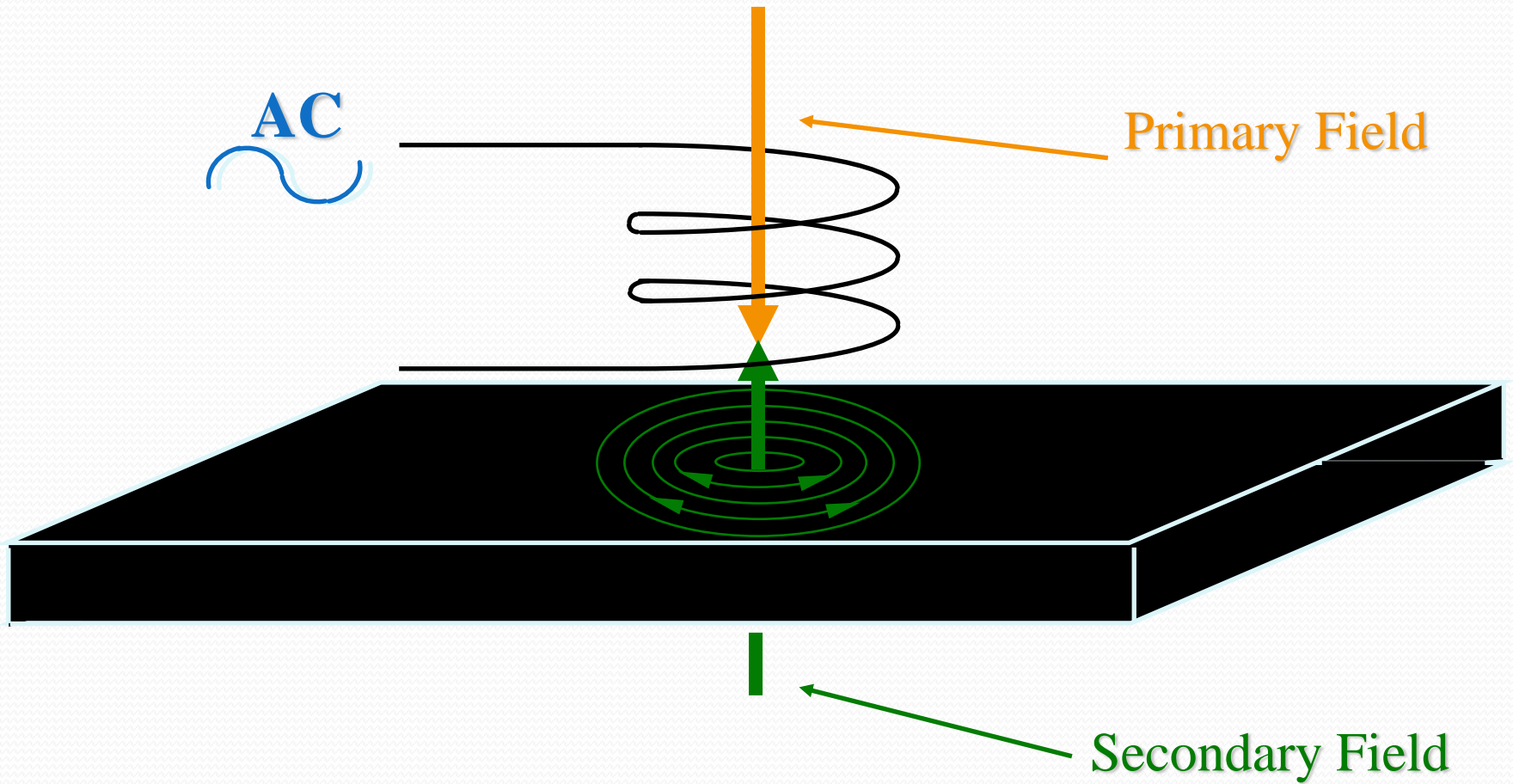
# CORRENTES PARASITAS-EDDY CURRENT



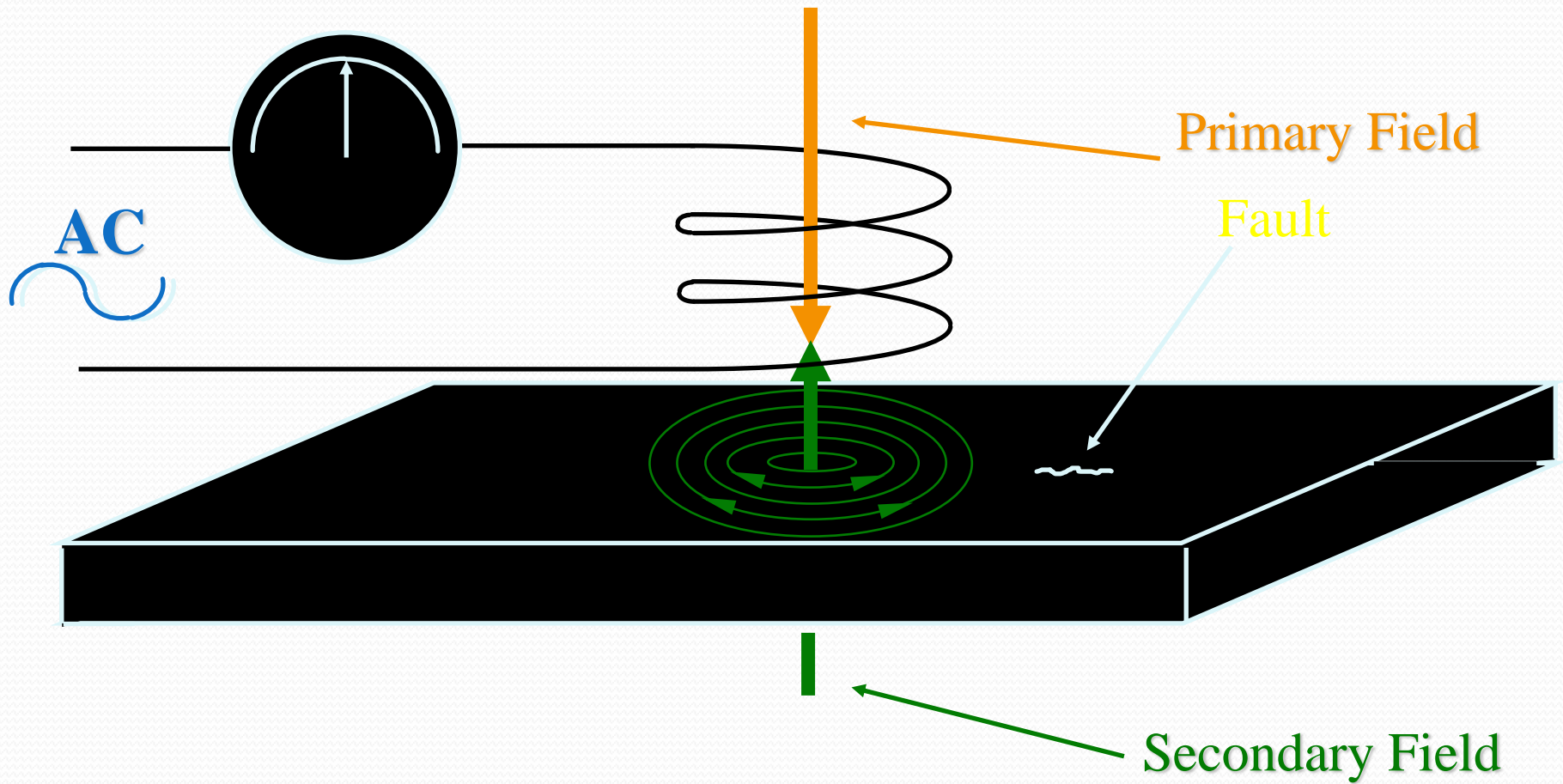
# Faraday's Experiment



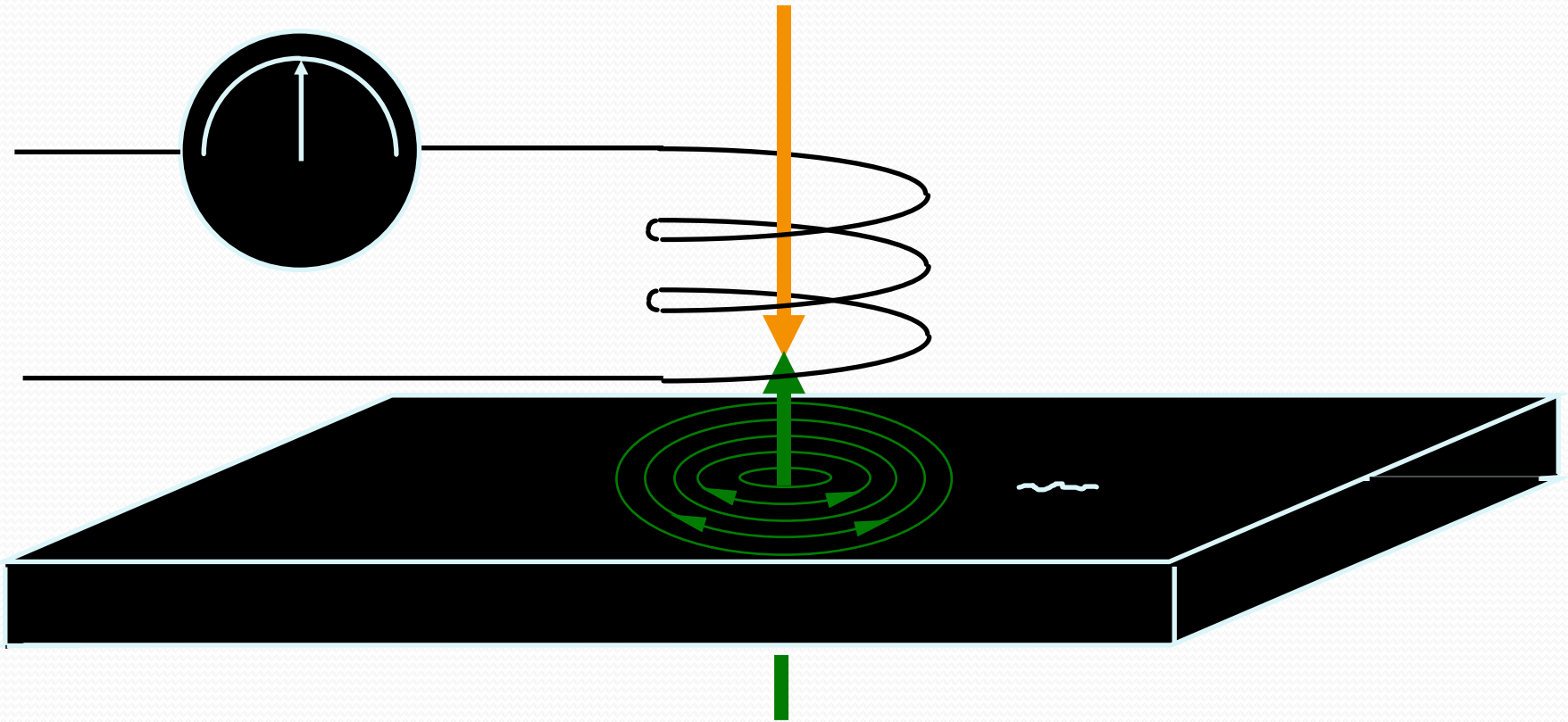
# How Eddy Currents are Induced



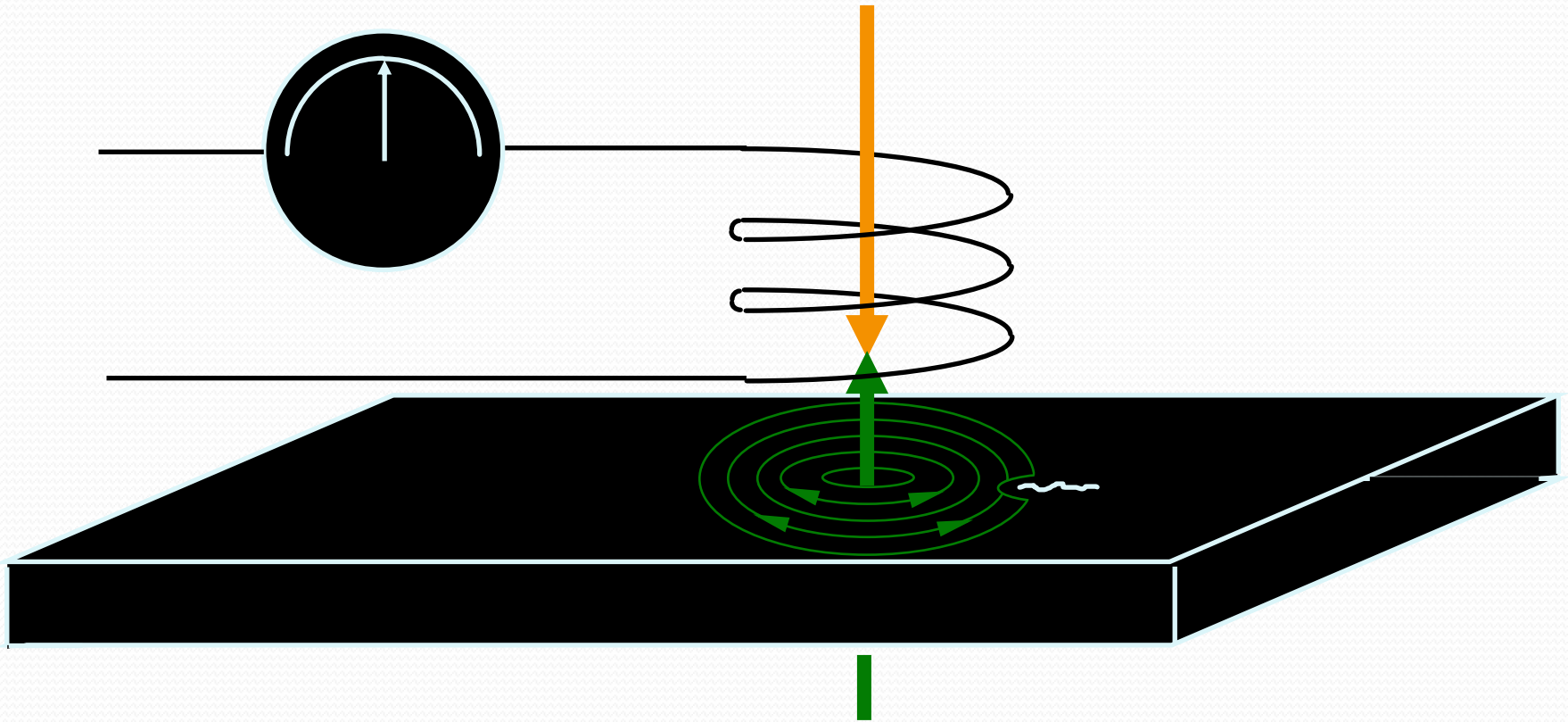
# Eddy Current Flaw Detection



# Eddy Current Flaw Detection

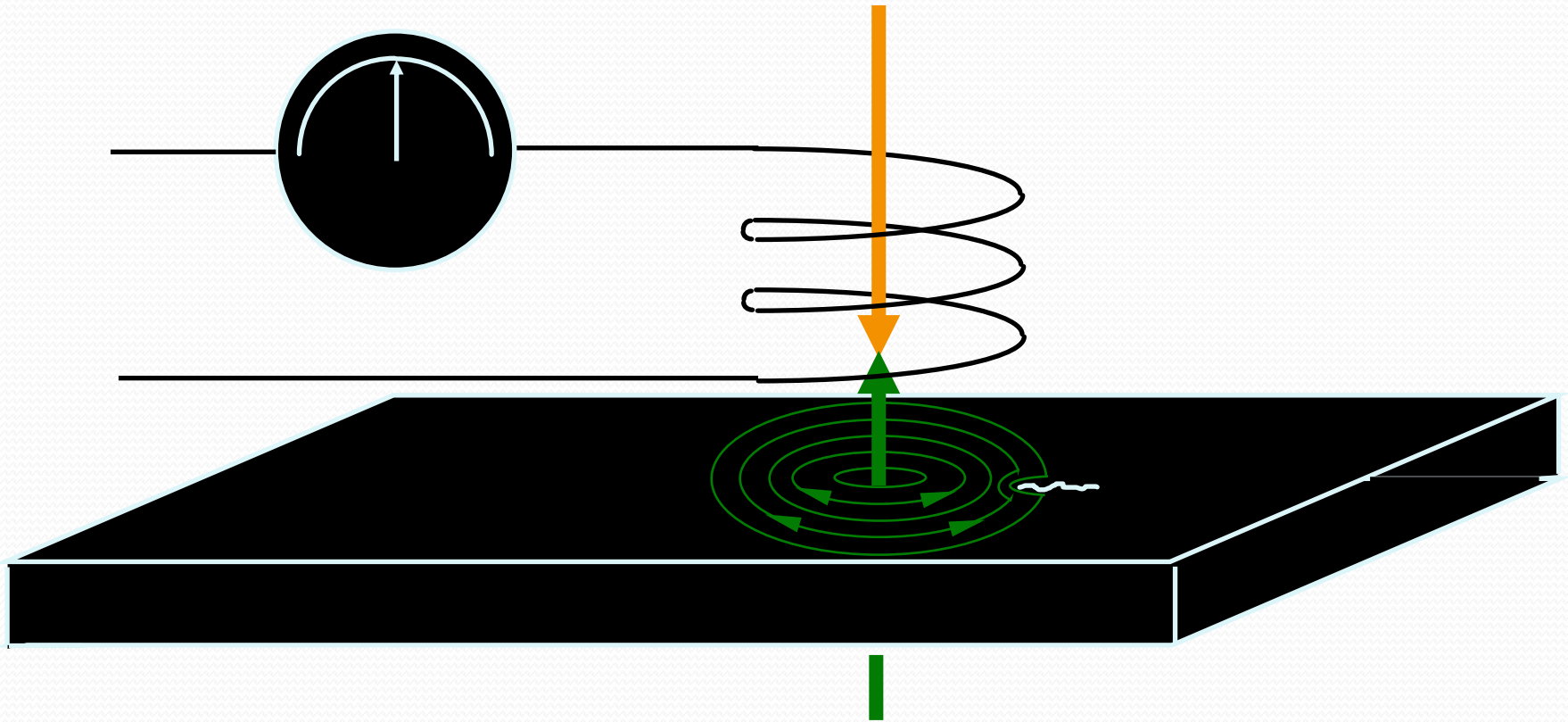


# Eddy Current Flaw Detection

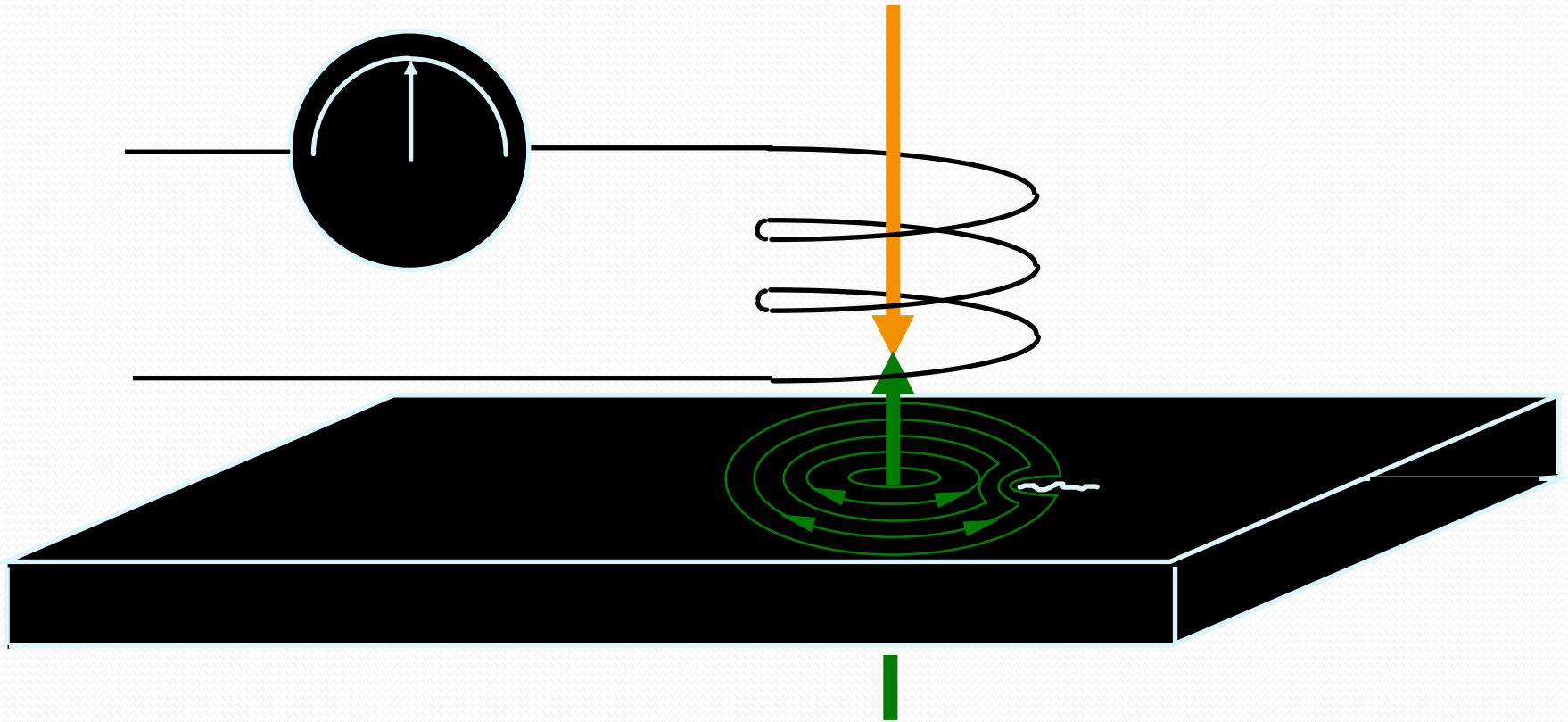




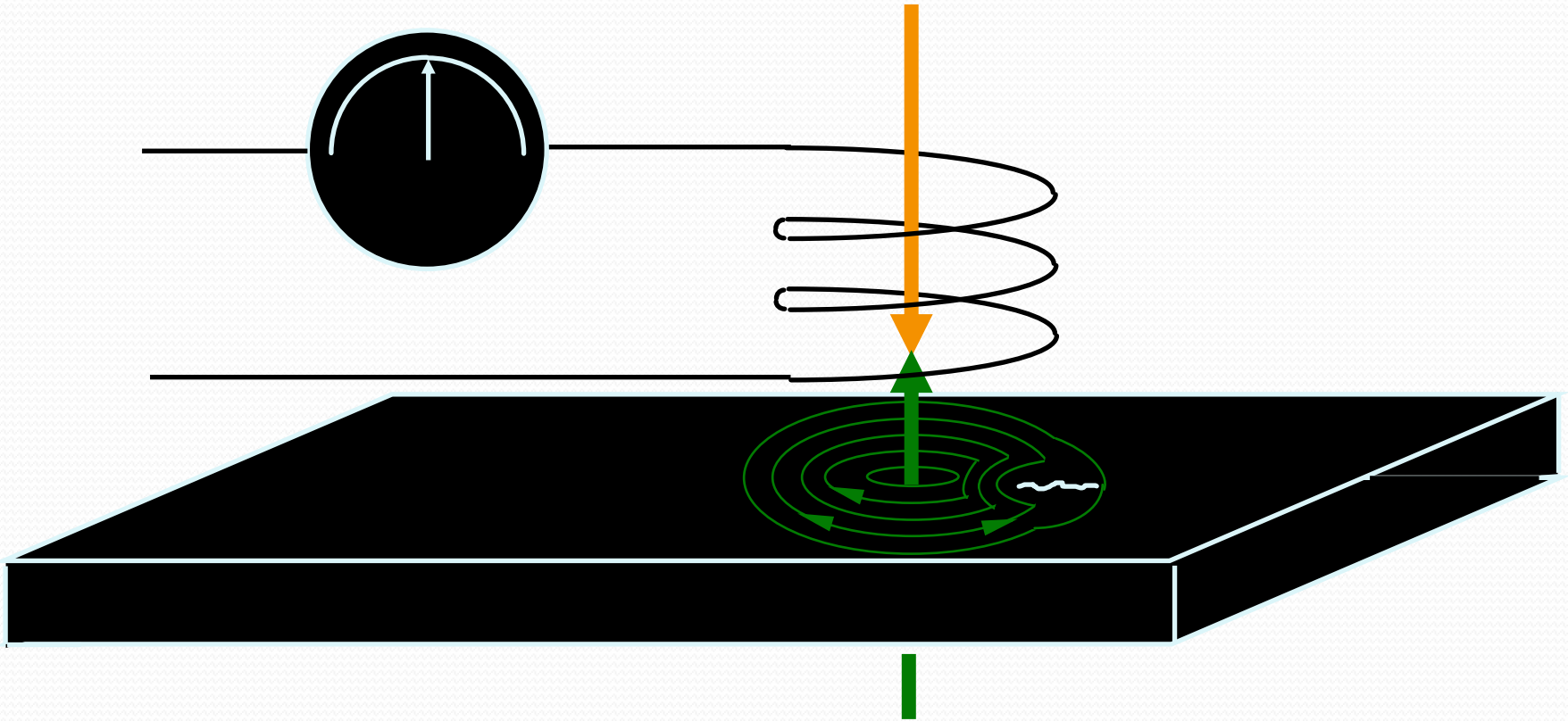
# Eddy Current Flaw Detection



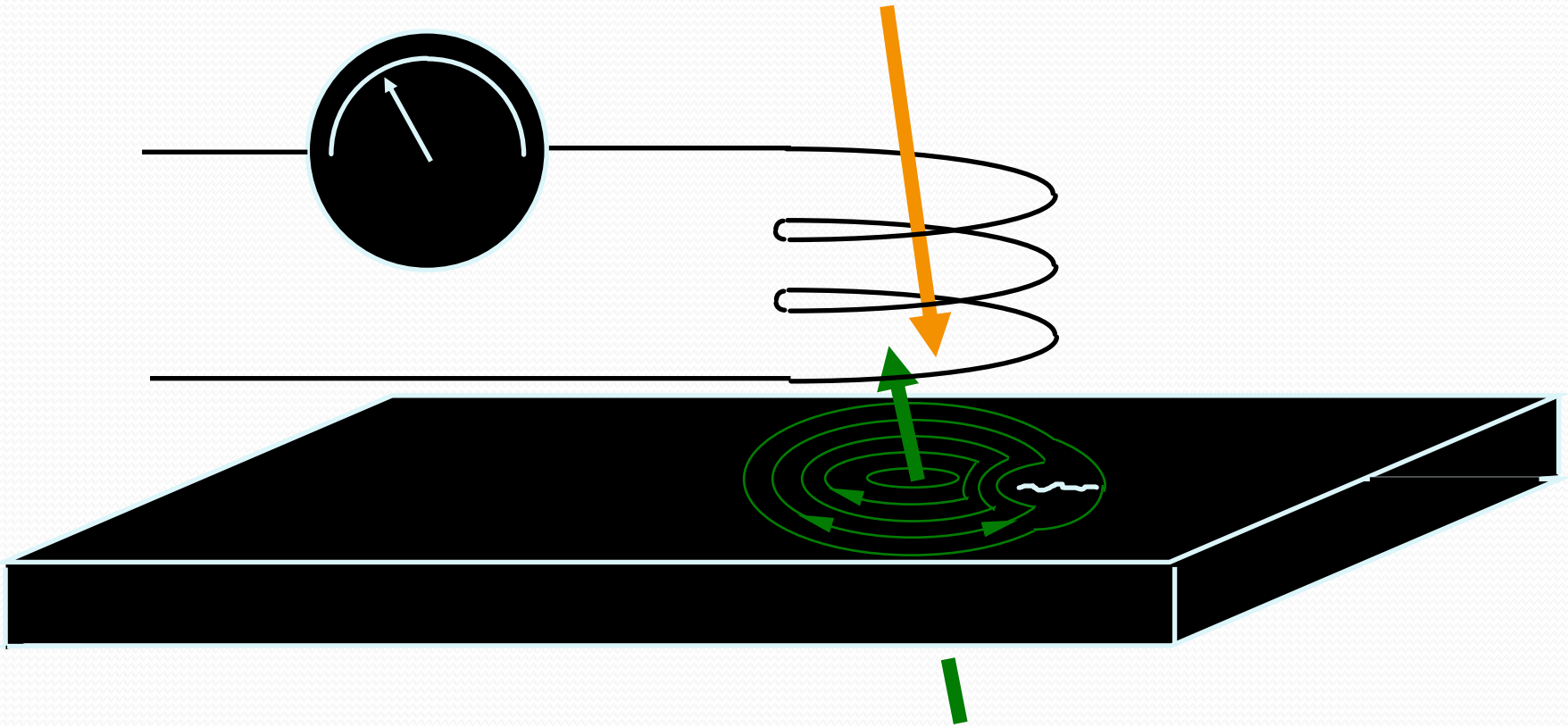
# Eddy Current Flaw Detection



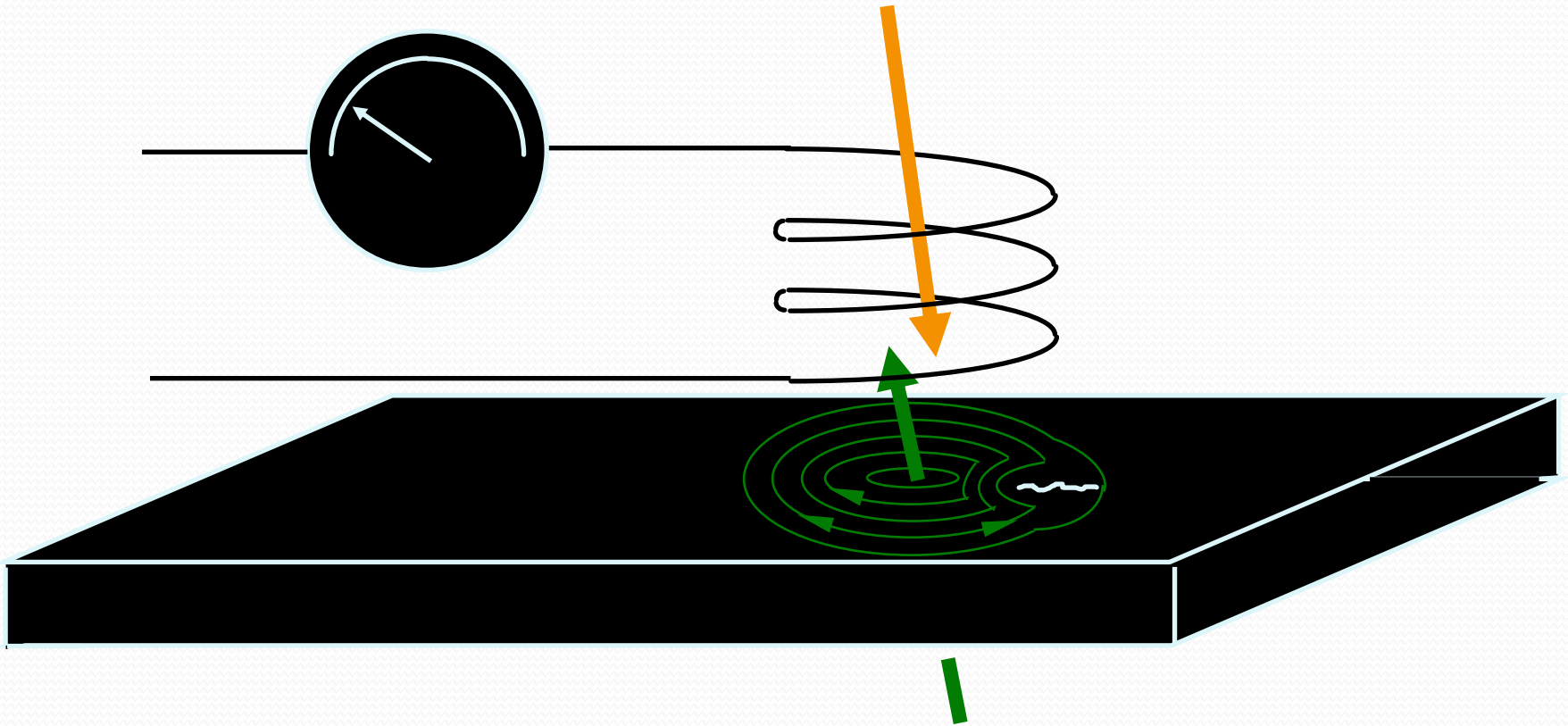
# Eddy Current Flaw Detection



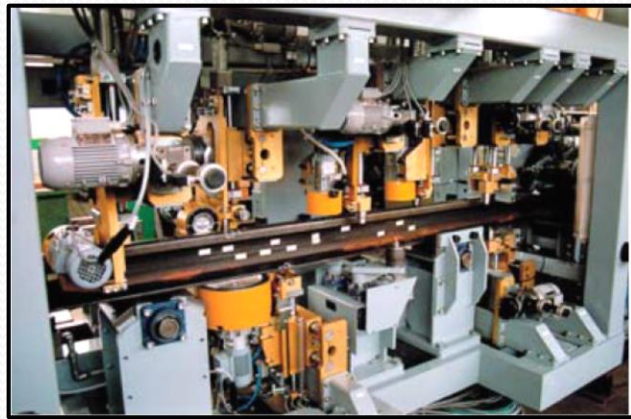
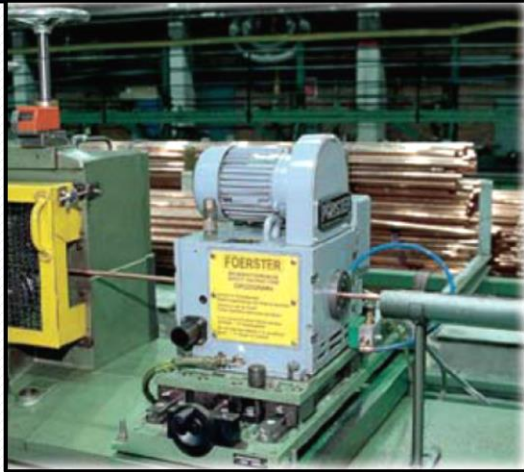
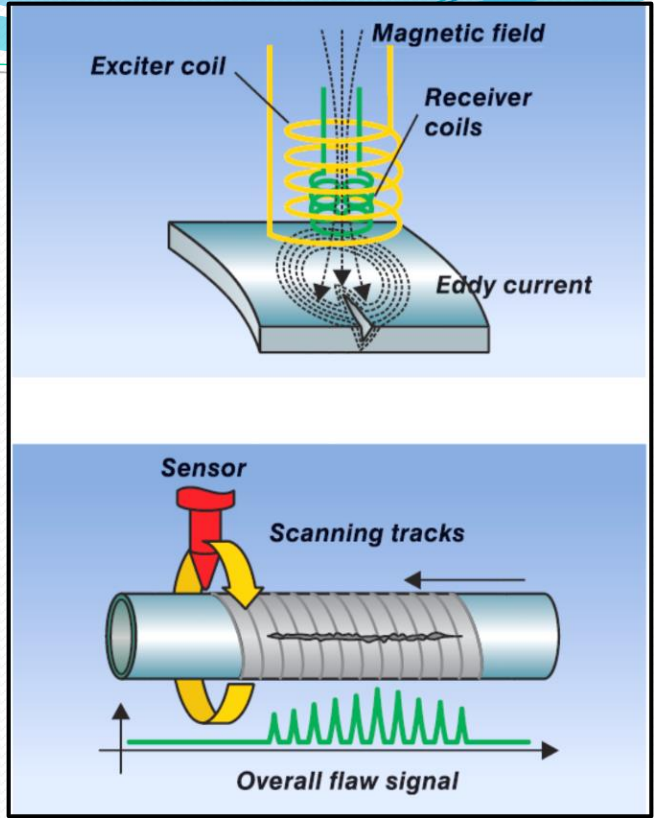
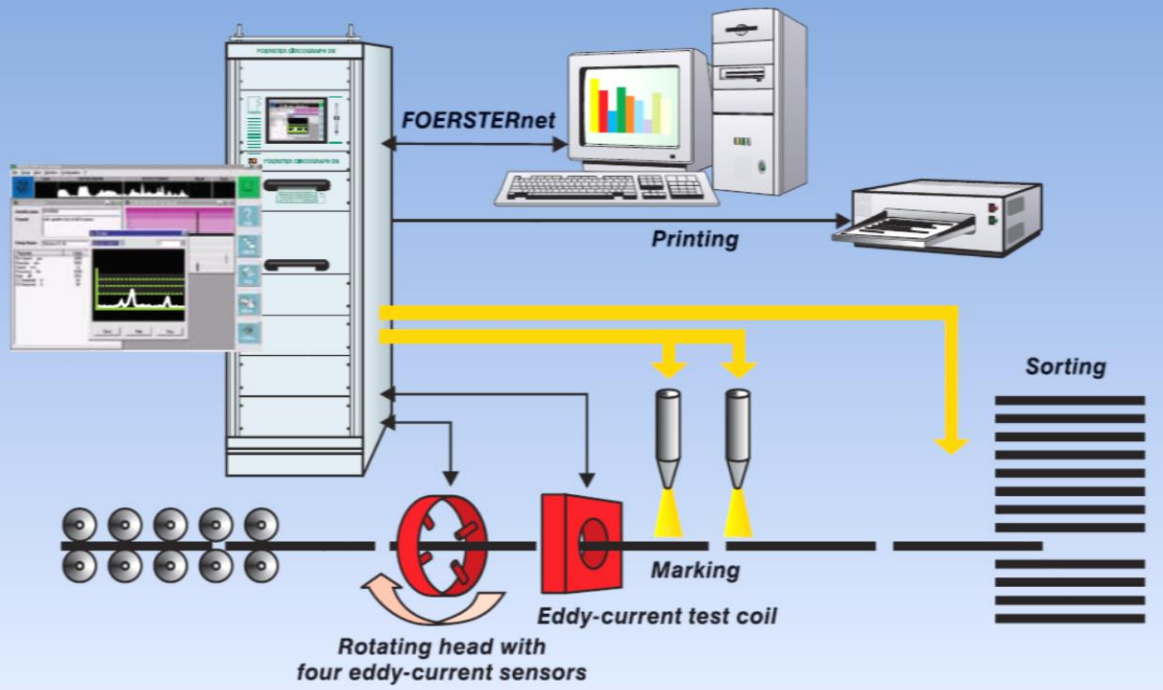
# Eddy Current Flaw Detection



# Eddy Current Flaw Detection



# Circograph- Eddy current



# GE INSPECTION TECHNOLOGIES-2007



**CURSOS, APRESENTAÇÕES E CONSULTORIA NA ÁREA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS: ULTRASSOM, PARTÍCULAS MAGNÉTICAS, INSPEÇÃO VISUAL REMOTA, RADIOGRAFIA INDUSTRIAL.**



# INSPEÇÃO VISUAL REMOTA



VideoProbe XLG3

- Joystick controlled articulation
- Color CCD at distal end of probe
- Insertion tube watertight to 30 feet
- Integrate 2-hour battery / UPS
- Stereo defect measurement capability
- Record still images or MPEG video
- Embedded PC with ethernet connectivity
- Embedded R/W DVD , PC-card, and USB-2.0 ports





# PC Operating System

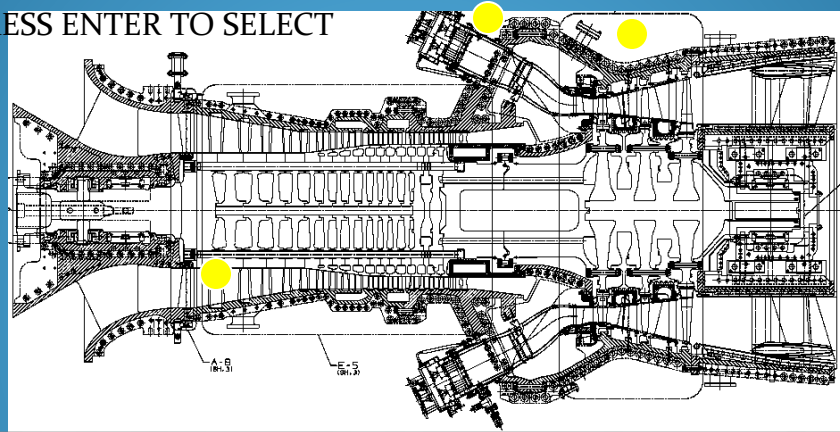
- Running Standard Applications
- Browser
- Network Software
- Internet Protocol
- e-mail



GE  
Inspection Technologies



USE JOYSTICK, MOVE CURSOR OVER SECTION  
PRESS ENTER TO SELECT

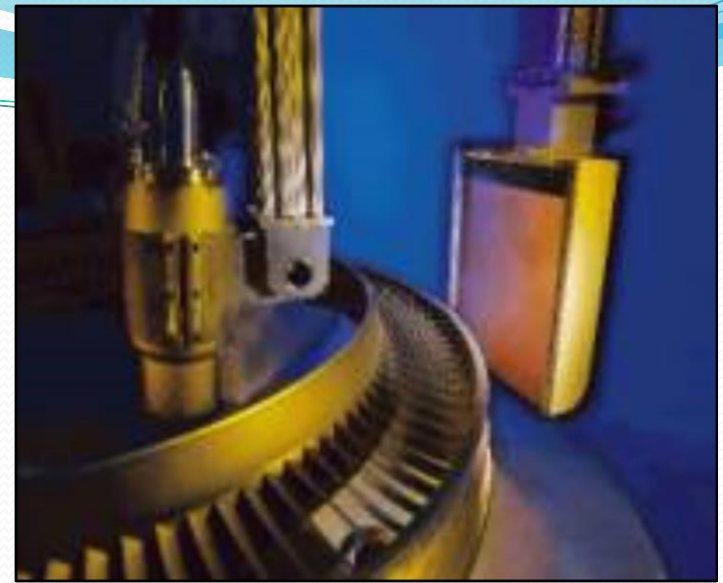
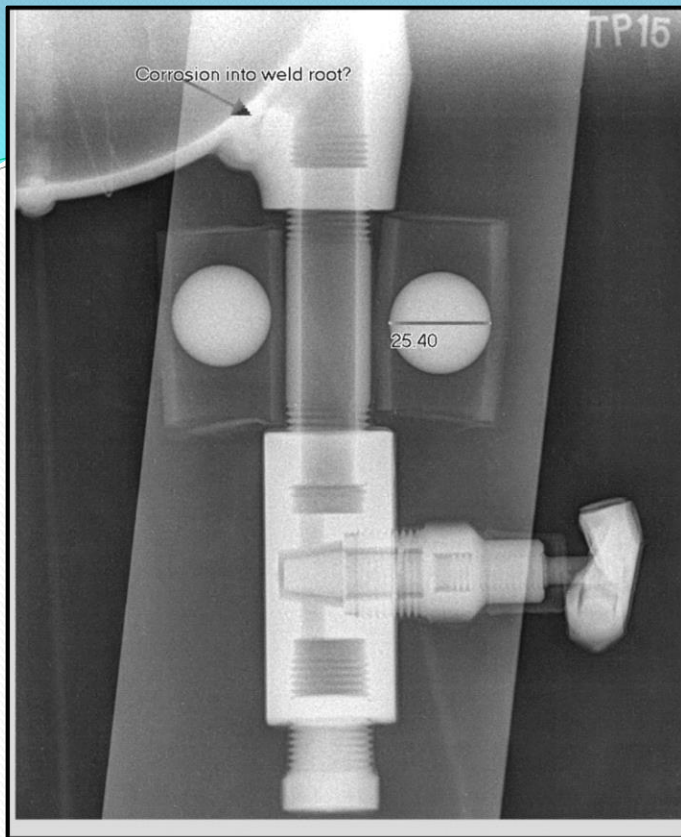


Everest XLG3

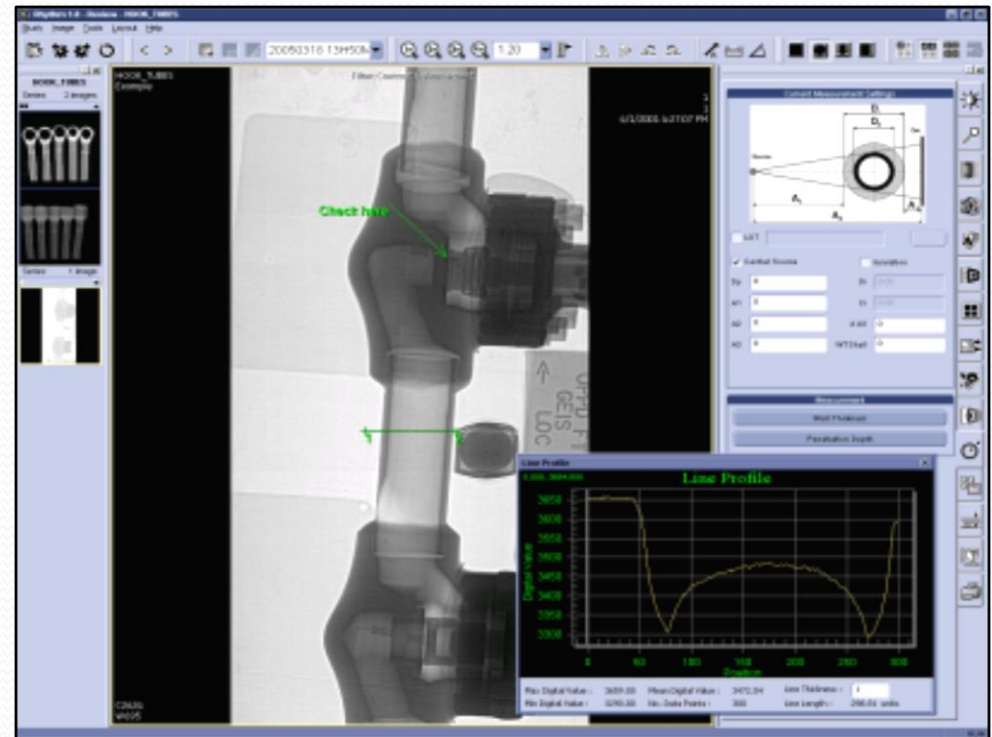
3



Figura 14 – Exemplo de medida de corrosão , utilizando técnica estéreo , na parte interna de equipamento petrolífero. Na figura vemos que o software mostra a ponta que está sendo utilizada(a) , o índice de acuracidade(b) , o índice de aumento(c) , o croquis da medida(d) que está sendo realizada , a unidade de medida(e) e as dimensões medidas(f).



# RADIOGRAFIA DIGITAL



# RADIOGRAFIA COMPUTADORIZADA

## Storage Phosphor Scanner Systems

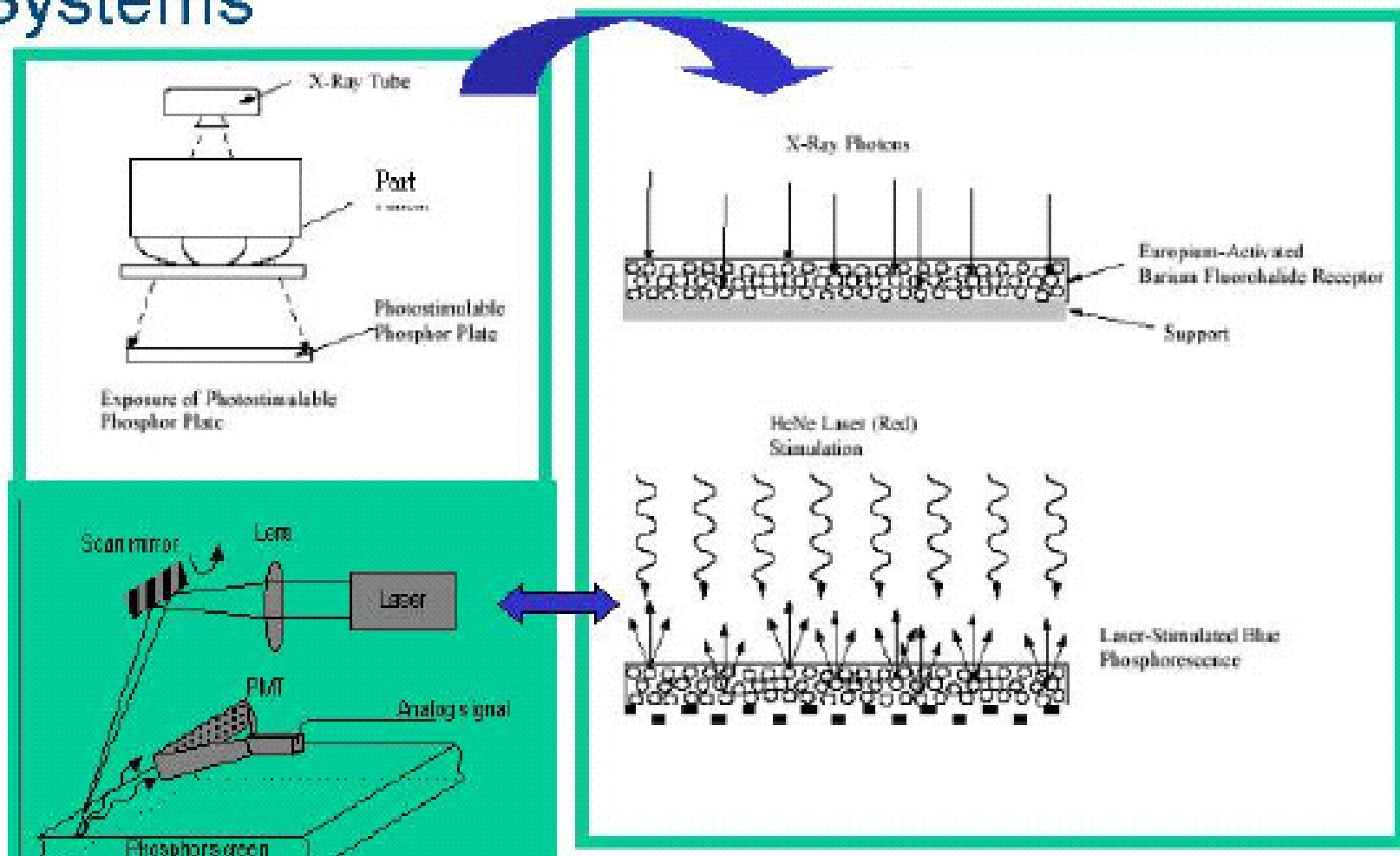
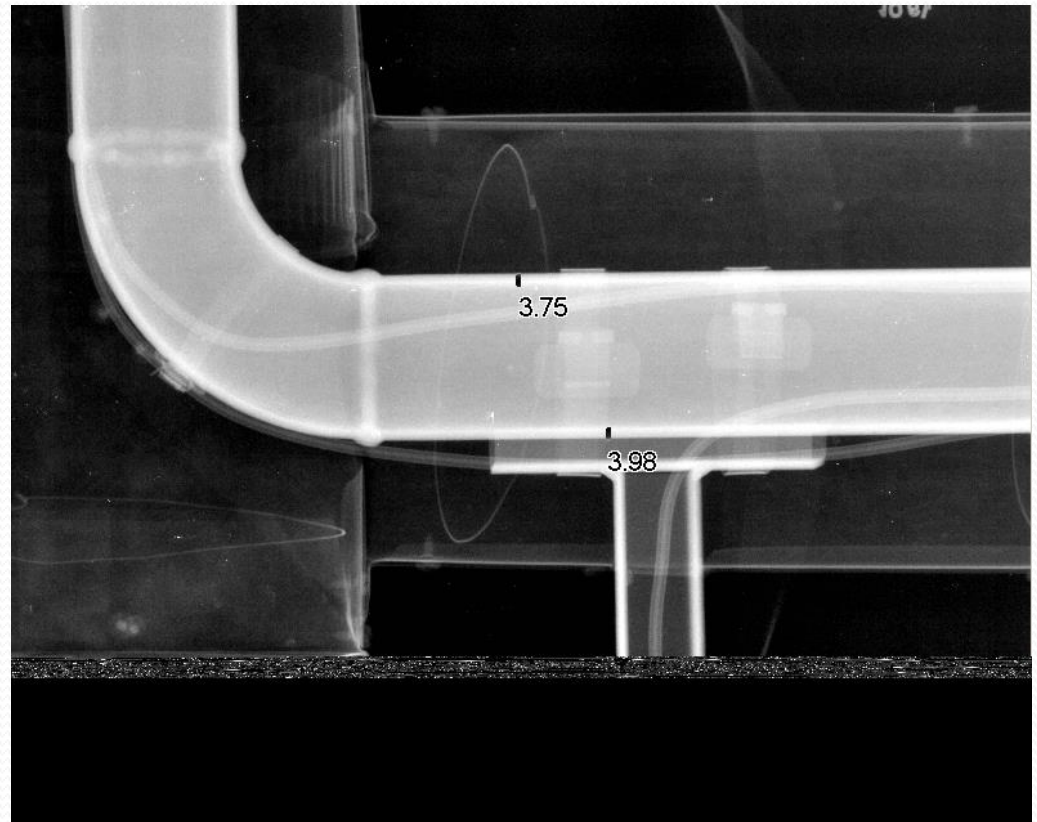
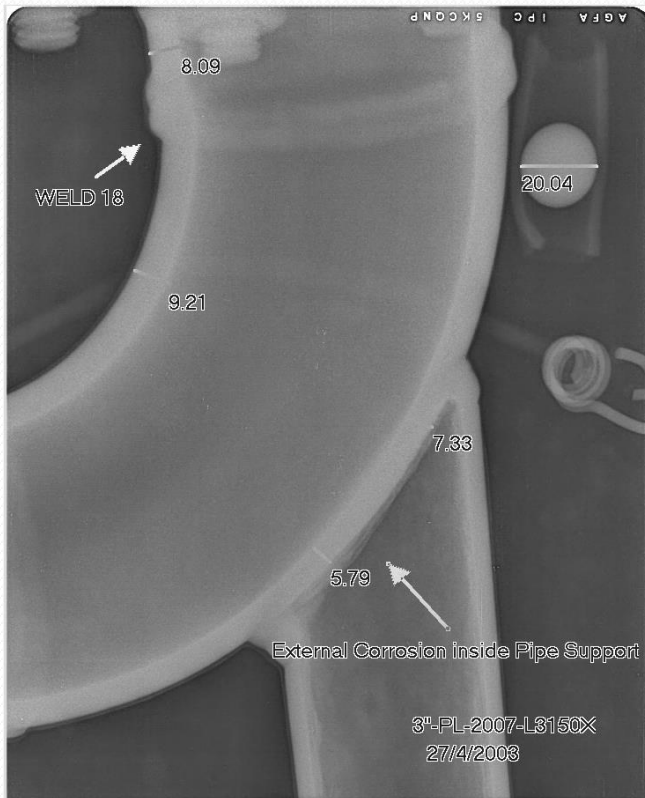


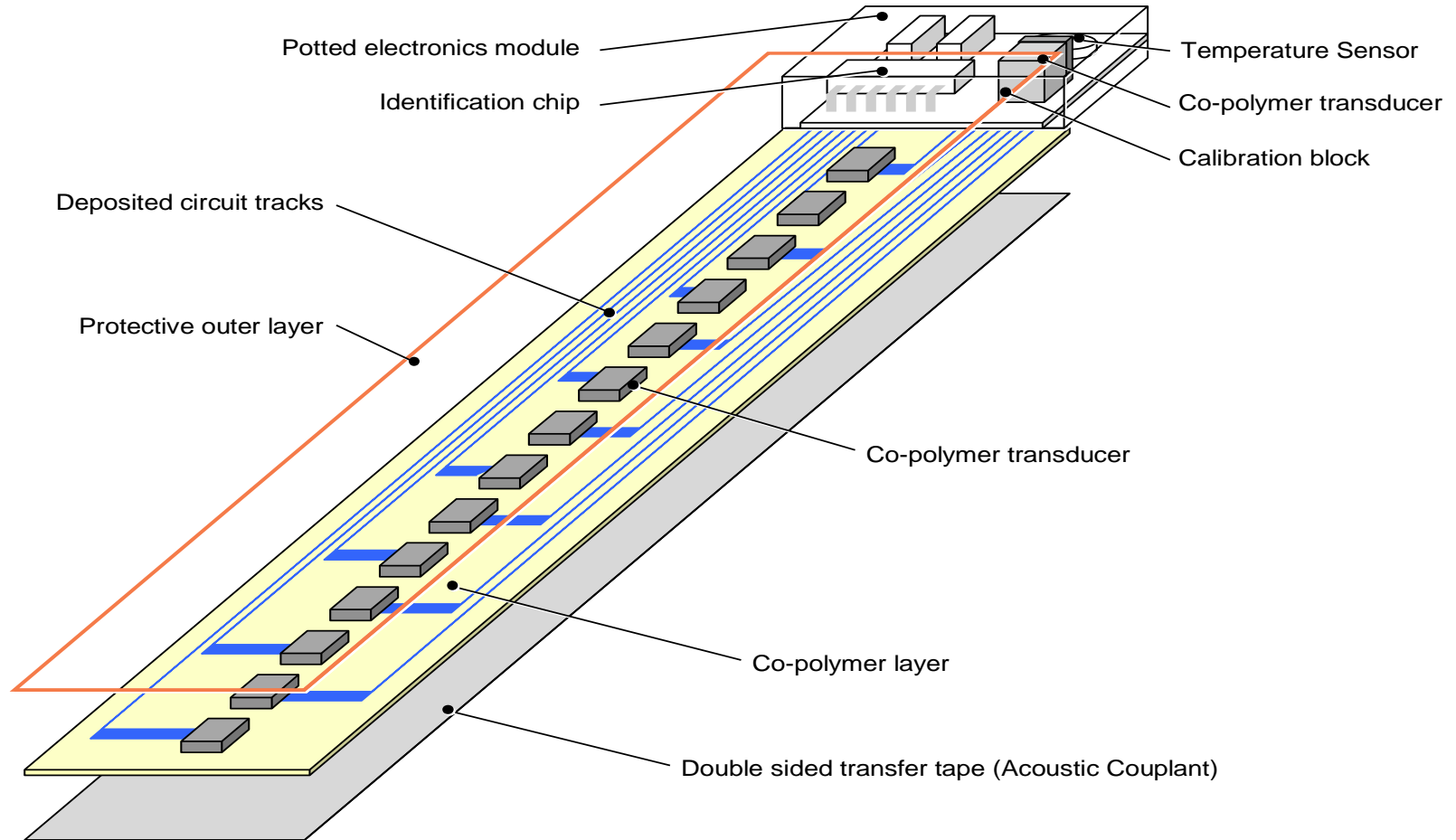
Figura 19- Fenomenologia da Radiografia Computadorizada.

# Dimensionamento de corrosão interna em dutos.



# Rightrax Intelligent Monitoring M1 SENSOR

## M1 Sensor make up



# Rightrax Intelligent Monitoring: instalação típica



M1 sensors Fitted on Pipelines prior to insulation be reinstated



Multiple M1 Sensors fitted to subterranean Pipeline Prior to coating reinstatement and back filling



Hot Installation continuous @ 120 to 130 deg C prior to heat shield replacement



**Showing installed M1 sensors**

Rightrax service cable to LCR

Rightrax Splitter Box

Rightrax Junction Box Housing  
D11 Datalogger And 10 Way Multiplexer



M1Sensors

A RIGHTRAX Installation site showing Installed Sensors Prior to The Customers Paint and Insulation being applied to the piping system



**FIM**

**Prof.Dr. José Benedito Marcomini**