



XVI FIMAI | SIMAI

13h as 20h

07h as 18h

FEIRA E SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL E SUSTENTABILIDADE

2014 11, 12 e 13
NOVEMBRO
EXPO CENTER NORTE
PAVILHÃO AZUL
SÃO PAULO

Eficiência Energética na Indústria *Novos Desafios das Técnicas Preditivas*



Prof. D.Sc. Jorge Nei Brito
São Paulo, 12 de novembro de 2014

CDEN Colégio de
Entidades Nacionais

Auditório CONFEA



Sistema
CONFEA  **CREA**
Conselho Federal de Engenharia e Agronomia Conselhos Regionais de Engenharia e Agronomia

 **MUTUA**
CAIXA DE ASSISTÊNCIA DOS PROFISSIONAIS DO CREA

CDEN Colégio de
Entidades Nacionais



FEBRAE
FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE ASSOCIAÇÕES DE ENGENHEIROS, AGRÔNOMOS E ARQUITETOS

Eficiência Energética na Indústria - Novos Desafios das Técnicas Preditivas
Prof. D.Sc. Jorge Nei Brito

AGENDA



INTRODUÇÃO

Técnicas
PREDITIVAS

Considerações
FINAIS

INTRODUÇÃO



WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

- **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:** Atividade que procura melhorar o uso das fontes de energia.
- **Utilização racional de energia, às vezes chamada simplesmente de EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:** Consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado.
- **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:** Consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização.

Manutenção P R E D I T I V A



- **DEFINIÇÃO:** Acompanhamento periódico dos equipamentos, baseado na análise de dados coletados através de monitoração ou inspeções em C A M P O.
- **OBJETIVO PRINCIPAL:** Verificação pontual do funcionamento dos equipamentos, antecipando eventuais problemas que possam causar gastos maiores como a manutenção corretiva.



Análise de Vibração



Análise de Vibração



- **Movimento vibratório de uma máquina:** resultado das forças dinâmicas que a excitam. Essa vibração se propaga por todas as partes da máquina, bem como para as **ESTRUTURAS INTERLIGADAS** a ela.
- **Máquina:** Vibra em várias frequências e amplitudes correspondentes.
 - **Vibração Severa:** Desgaste e a fadiga, responsáveis por **QUEBRAS DEFINITIVAS** dos EQUIPAMENTOS.

Análise de Vibração



- Toda máquina: apresenta um determinado nível de **RUÍDO** e **VIBRAÇÃO** devido à **OPERAÇÃO** e a **FONTES EXTERNAS**.
- Porém, uma parcela destas vibrações: é causada por pequenos defeitos mecânicos ou excitações secundárias perturbadoras, que atuam na **QUALIDADE** do **DESEMPENHO** da máquina.
- Acréscimo no **NÍVEL de VIBRAÇÃO** de uma máquina é o primeiro sinal de agravamento de um defeito: desalinhamento, desbalanceamento, folga mecânica empenamento do eixo, desgaste rolamento etc.

Análise de Vibração



- O comportamento dinâmico da máquina: é uma composição das perturbações de todos os componentes, **DEFEITOS** e **EXCITAÇÕES** oriundas dos **MOVIMENTOS**.
- Criteriosa medida das vibrações: poderá indicar as principais causas (quais elementos ou defeitos) estão excitando a máquina.
- Portanto, em uma máquina as vibrações se dão em várias frequências devido às várias excitações: O movimento em um ponto qualquer será a superposição de **VÁRIAS HARMÔNICAS**.

Análise de Vibração



- O controle dos fenômenos vibratórios pode ser conseguido por três procedimentos diferenciados:
 - **Eliminação das fontes:** balanceamento, alinhamento, substituição de peças defeituosas, aperto de bases soltas etc.
 - **Isolamento das partes:** colocação de um meio elástico amortecedor de modo a reduzir a transmissão da **VIBRAÇÃO** a níveis **TOLERÁVEIS**.
 - **Atenuação da resposta:** alteração da estrutura (reforços, massas auxiliares, mudança de **FREQUÊNCIA NATURAL** etc.).

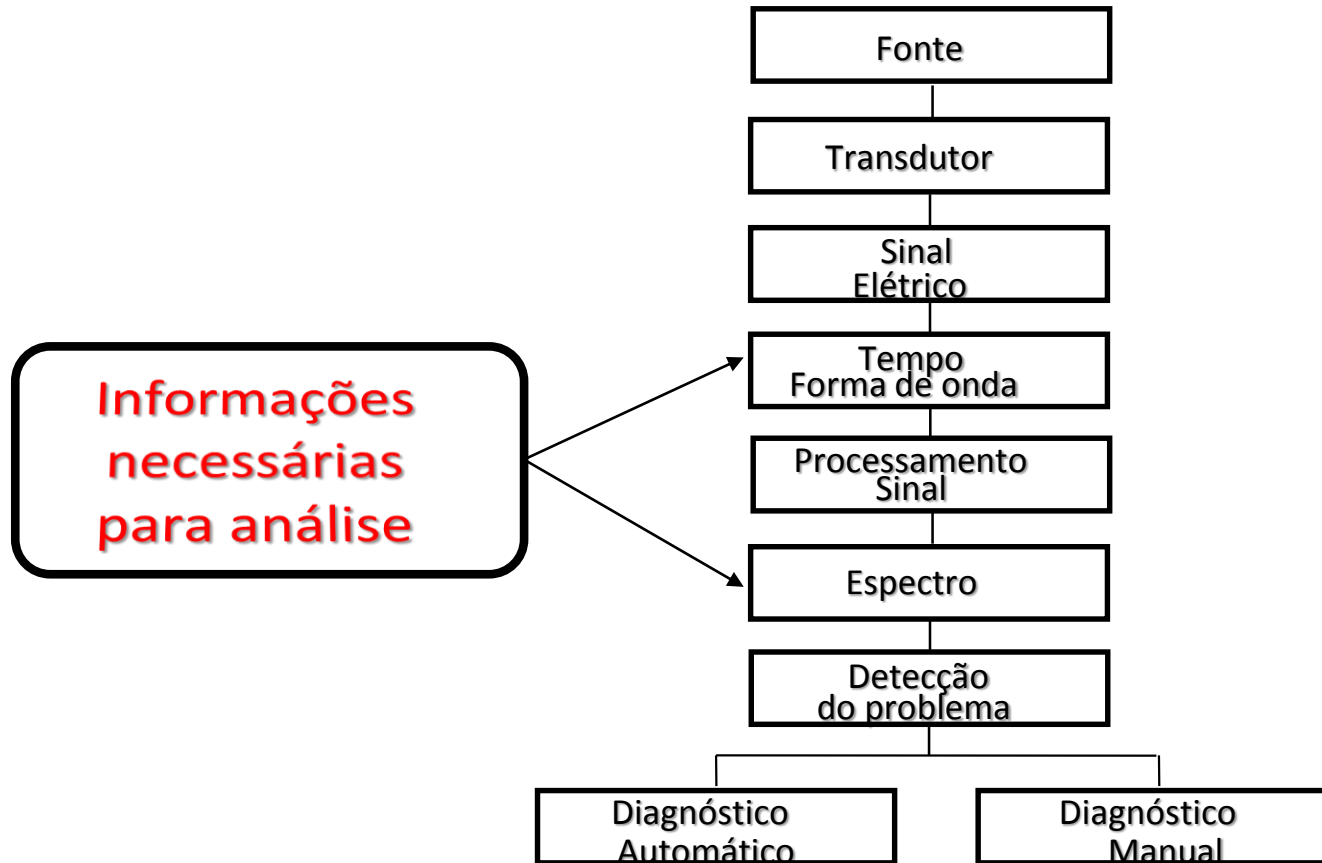
Análise de Vibração



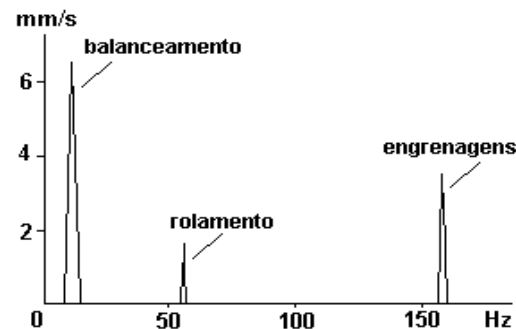
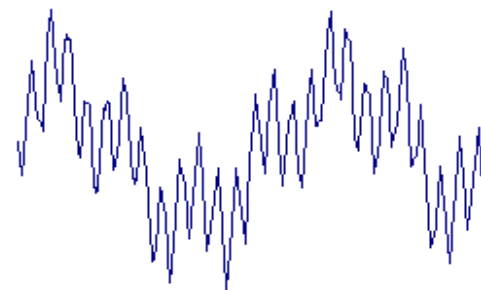
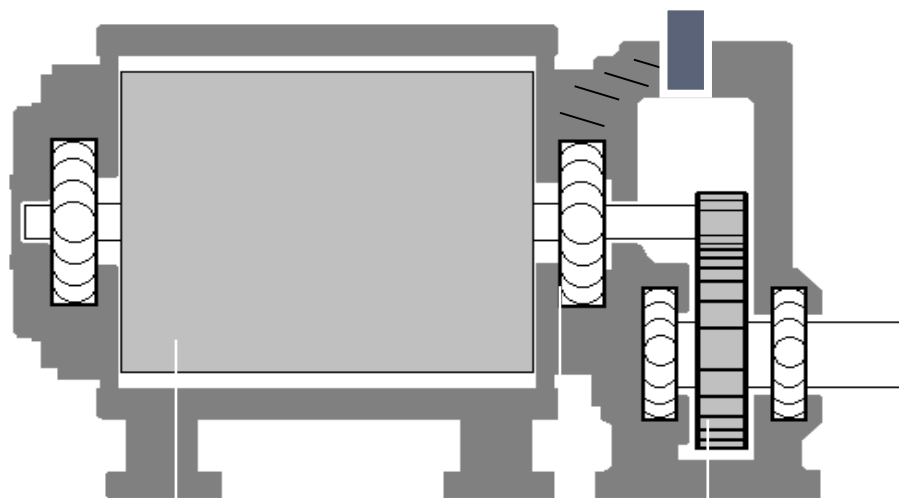
- Análise de Vibração: Dentre as ferramentas do controle preditivo, é a que apresenta o melhor custo/ benefício.
- Art Crawford: "Atualmente na indústria, de todos os parâmetros que podem ser medidos não invasivamente, o que contém mais informação é a **ASSINATURA** por **VIBRAÇÃO**".



Processamento de Sinais



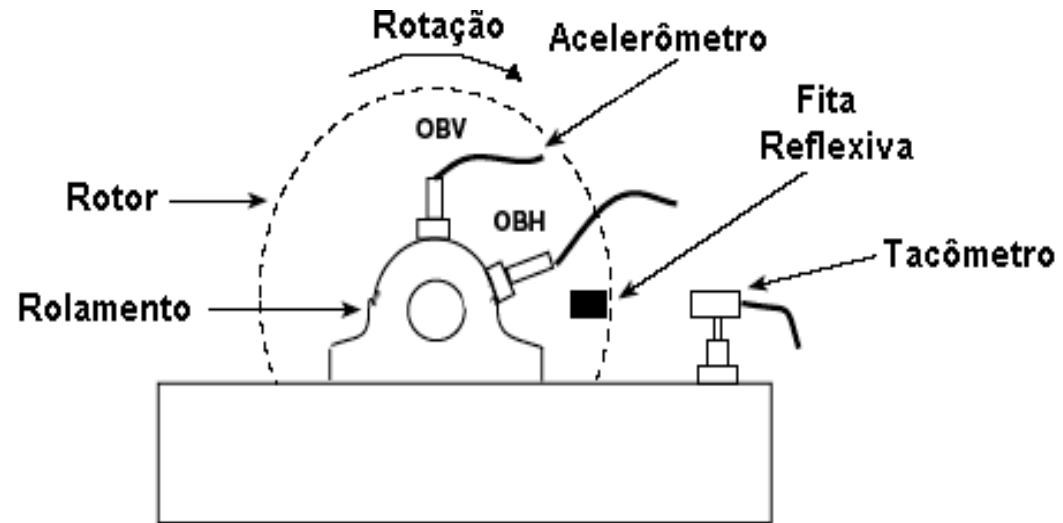
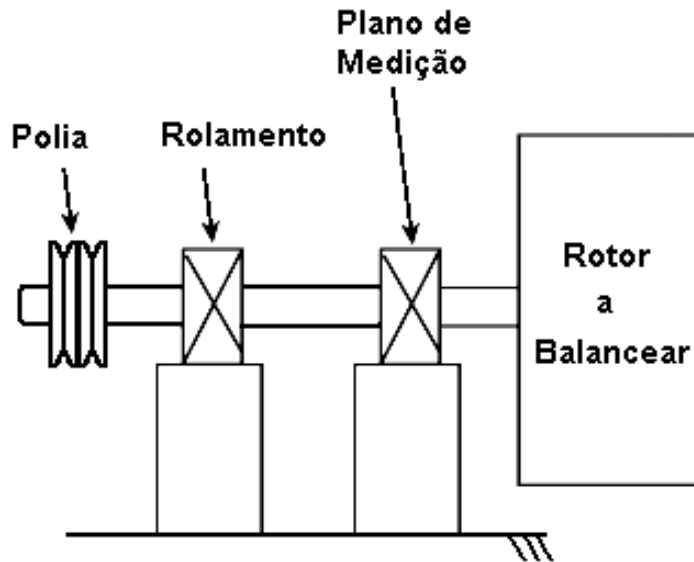
Análise de Vibração



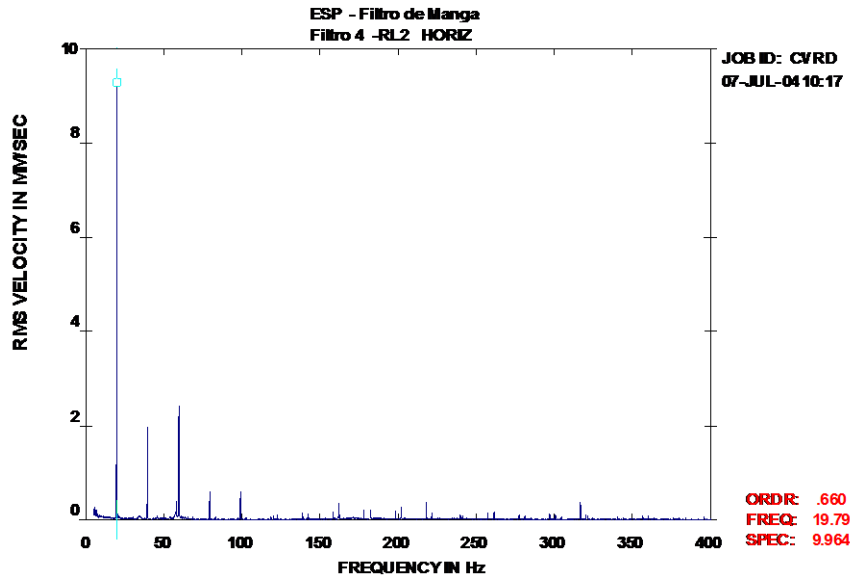
Balanceamento do rotor do exaustor



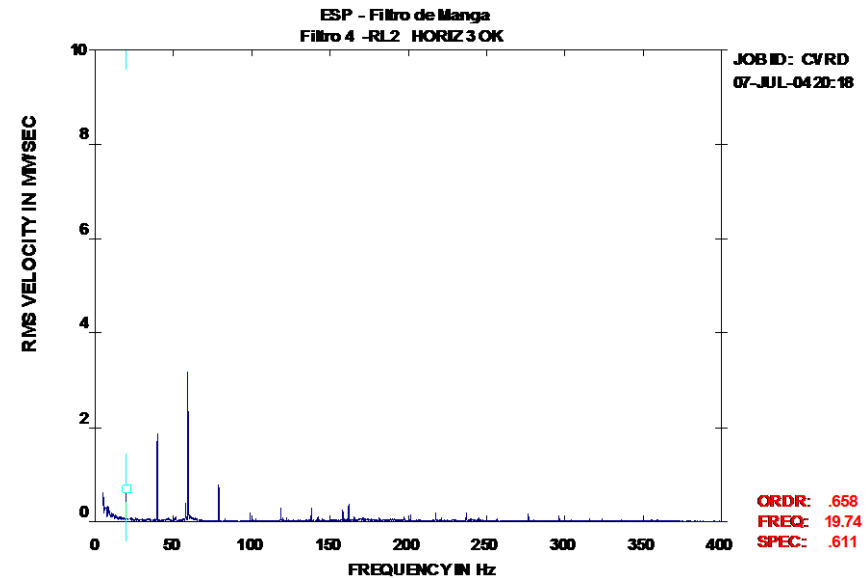
Balanceamento do rotor do exaustor



Balanceamento do rotor do exaustor



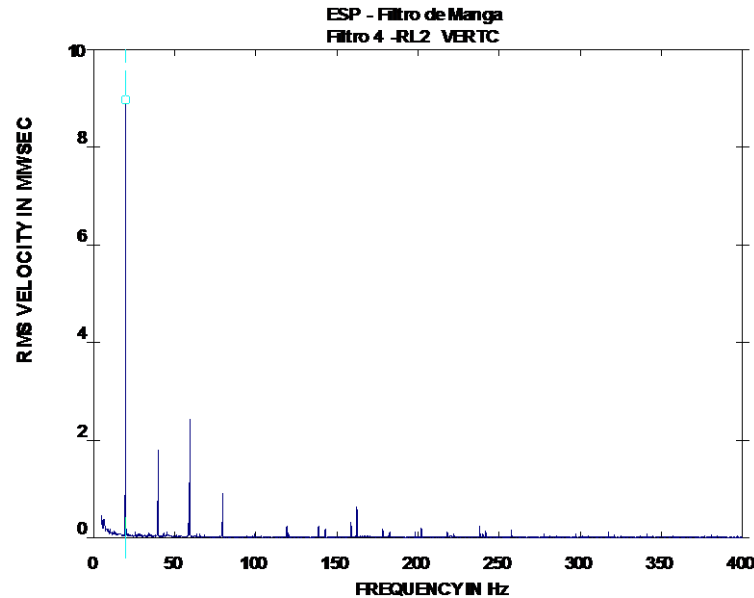
Antes do balanceamento
(A = 9,964 mm/s)



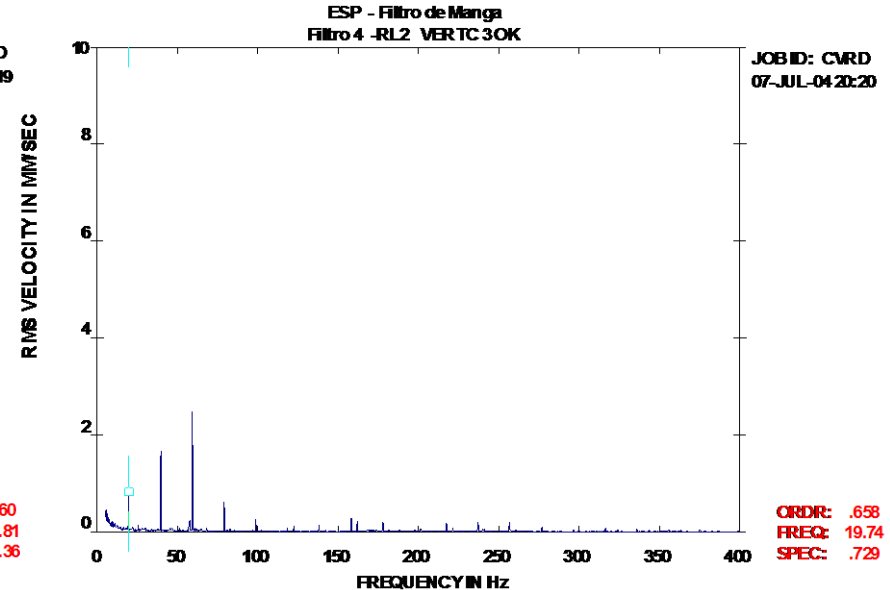
Após o balanceamento
(A = 0,611 mm/s)

Espectros de vibração na posição **HORIZONTAL**.

Balanceamento do rotor do exaustor



Antes do balanceamento
(A = 10,36 mm/s)



Após o balanceamento
(A = 0,729 mm/s)

Espectros de vibração na posição **VERTICAL**.

Balanceamento: RESULTADO



Pontos de Medição	Horizontal	Vertical
Vibração Inicial	9,964 mm/s	10,36 mm/s
Vibração Final	0,611 mm/s	0,729 mm/s
Percentual de Redução	93,87 %	92,96 %

- **Valores de corrente elétrica:** caíram **10%**, anteriormente indicava **114,8 A**, atualmente encontra-se com **105,4 A**.
- **ECONOMIA:** 3953 KWh/mês de energia -> R\$ 8.000,00 (anual).

Mancais de ROLAMENTO

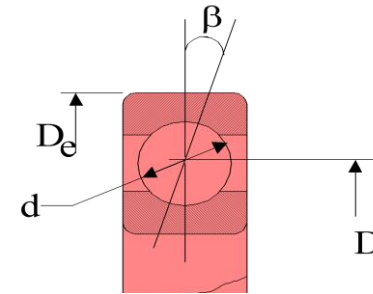


$$f_{\text{PistaExterna}} = \frac{n}{2} f_r \left(1 - \frac{d}{D} \right) \cos \beta$$

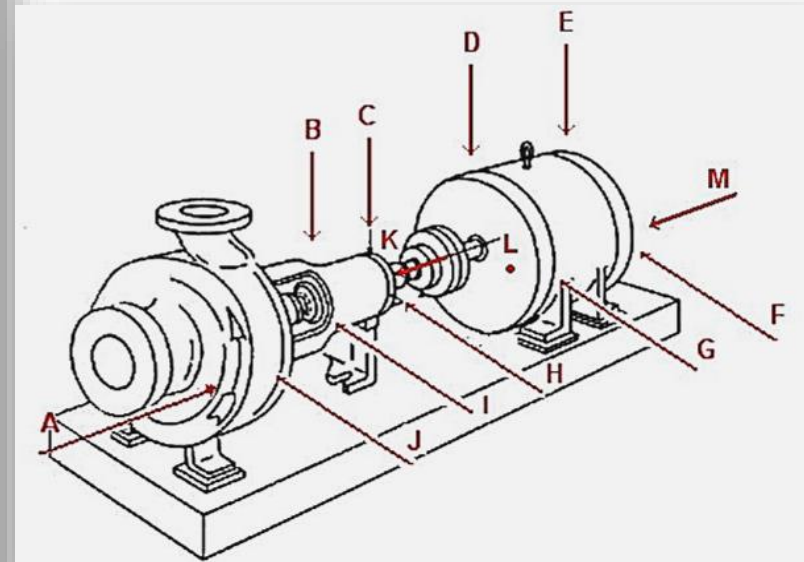
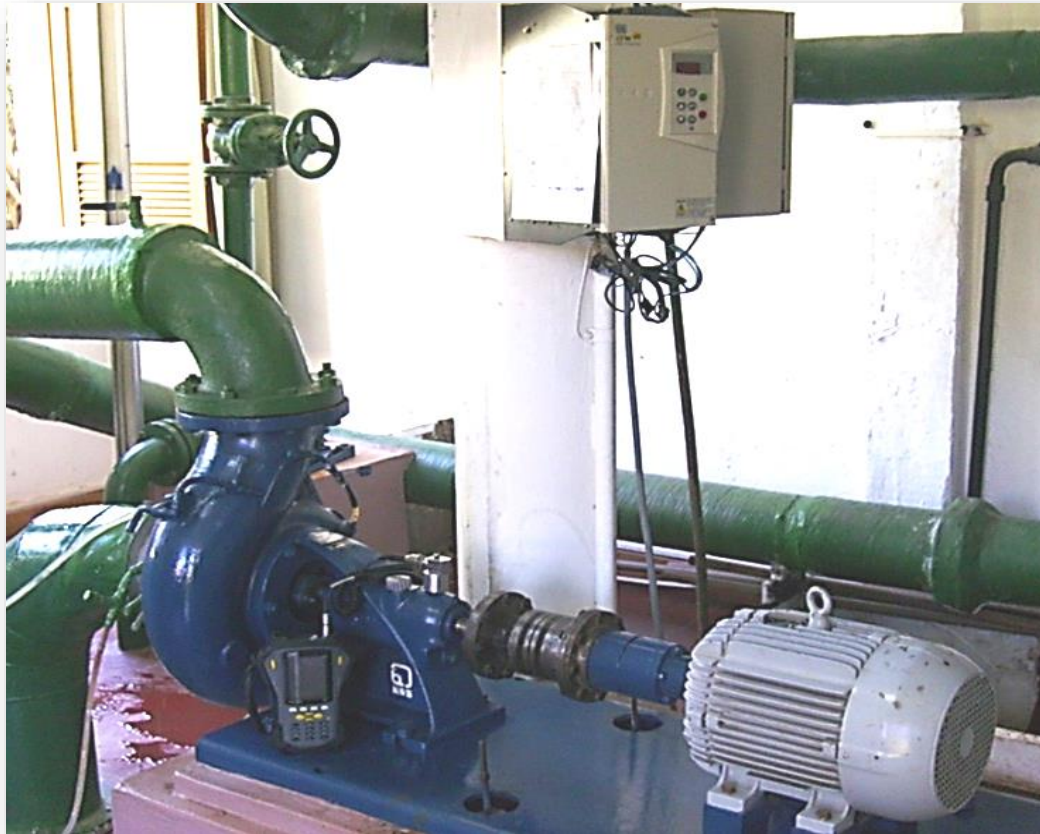
$$f_{\text{PistaInterna}} = \frac{n}{2} f_r \left(1 + \frac{d}{D} \right) \cos \beta$$

$$f_{\text{ElementoGirante}} = \frac{d}{2D} f_r \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \cos^2 \beta \right]$$

$$f_{\text{Gaiola}} = \frac{1}{2} f_r \left(1 - \frac{d}{D} \right) \cos \beta$$



Conjunto Motor Bomba

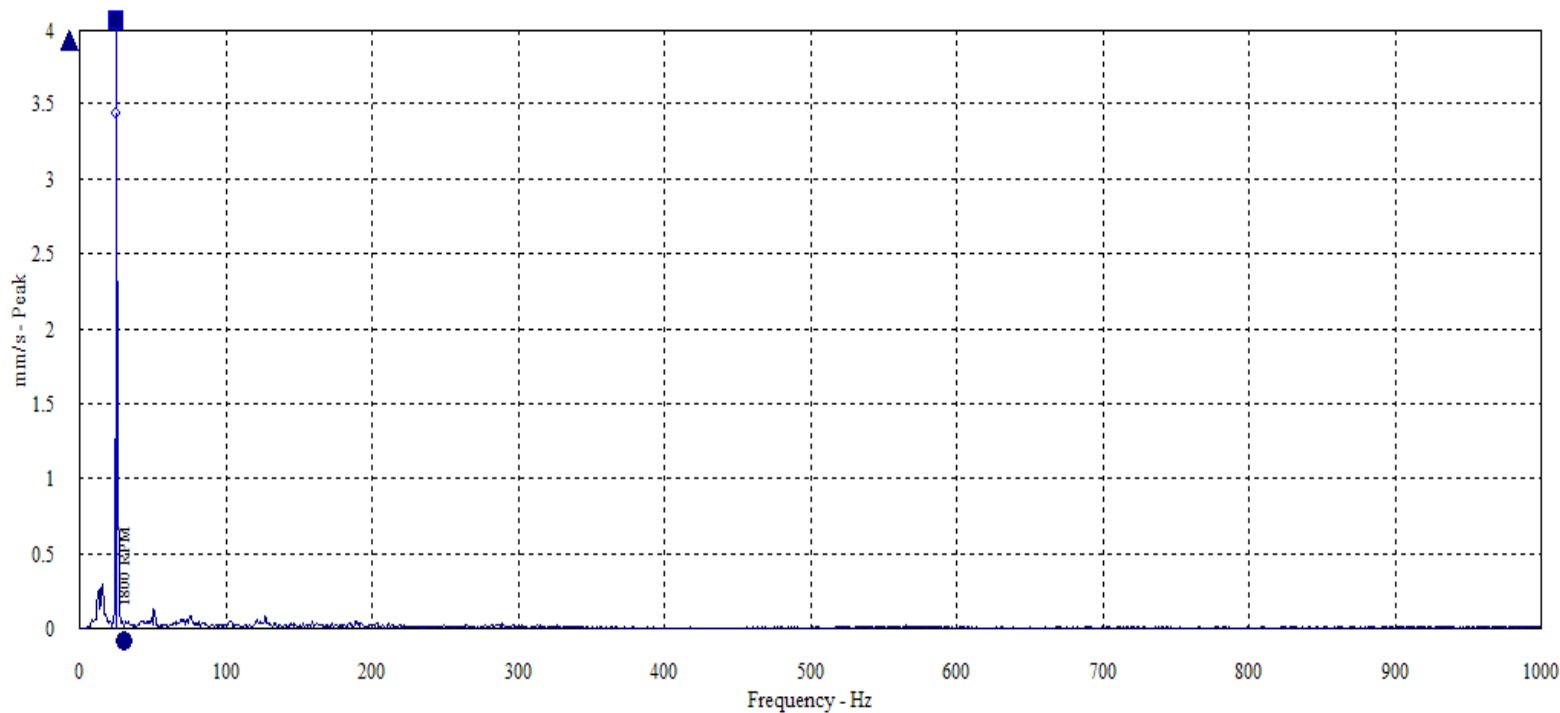


Laboratório de Máquinas Hidráulicas (LABMH)

Mancais de ROLAMENTO



Amp: 3.438, Freq: 25.63, Order: 0.8542, ---

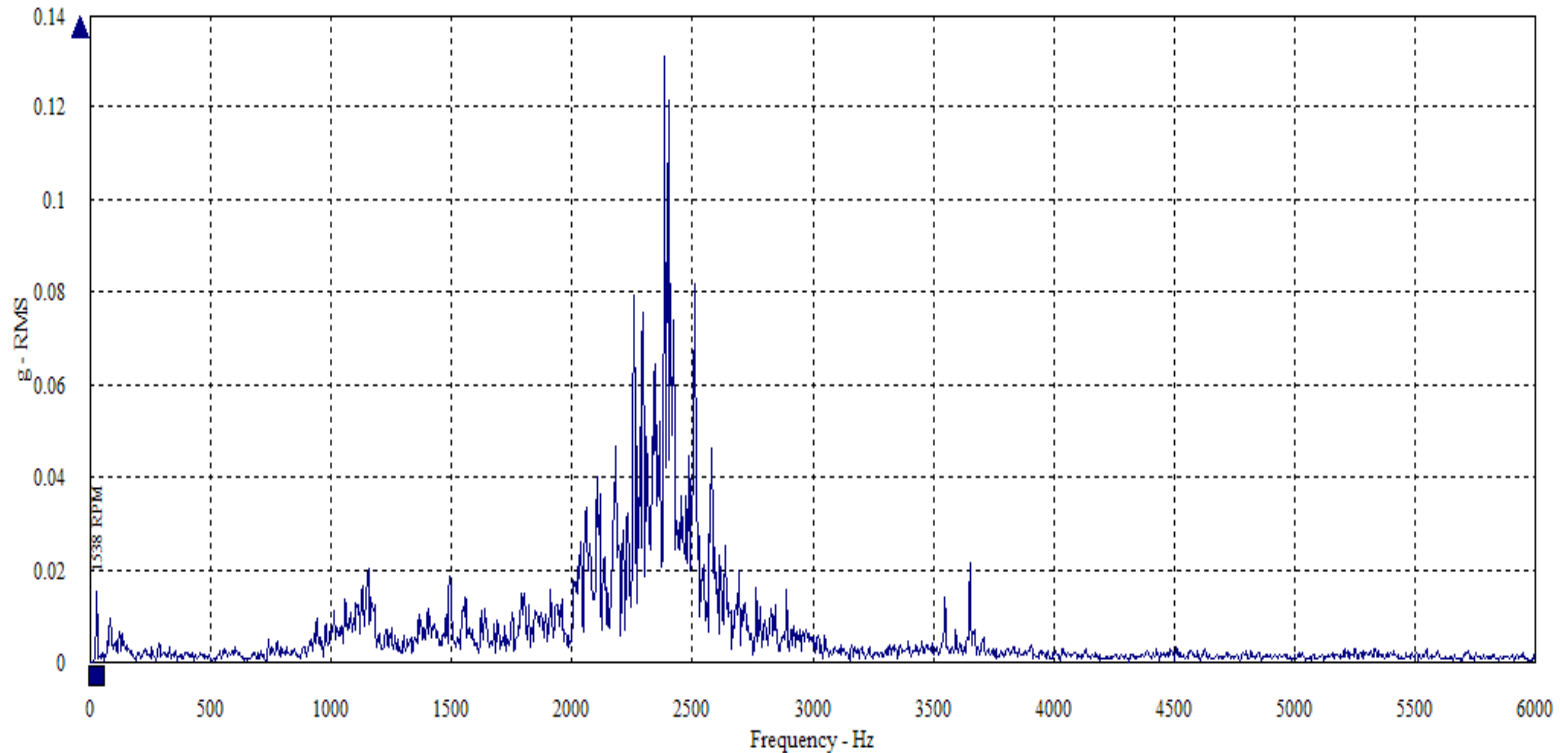


Bomba com rotor desbalanceado

Conjunto Motor Bomba



Amp: 0.01535, Freq.: 25.63, Running Speed: 1538 RPM

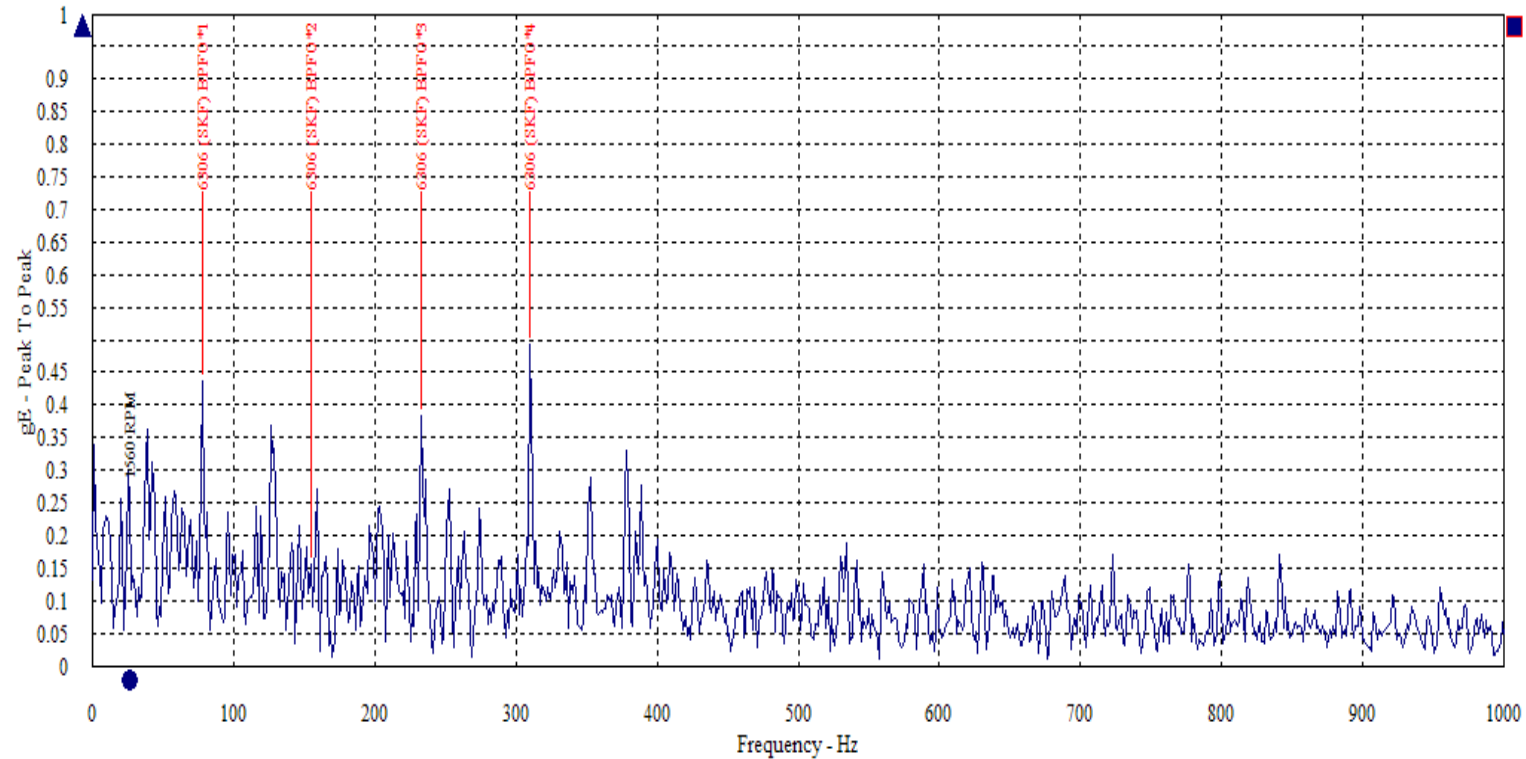


Espectro característico de falha por cavitação

Conjunto Motor Bomba



16 fundamentals for Bomba KSB ETA \ BCH env rol1 1000hz

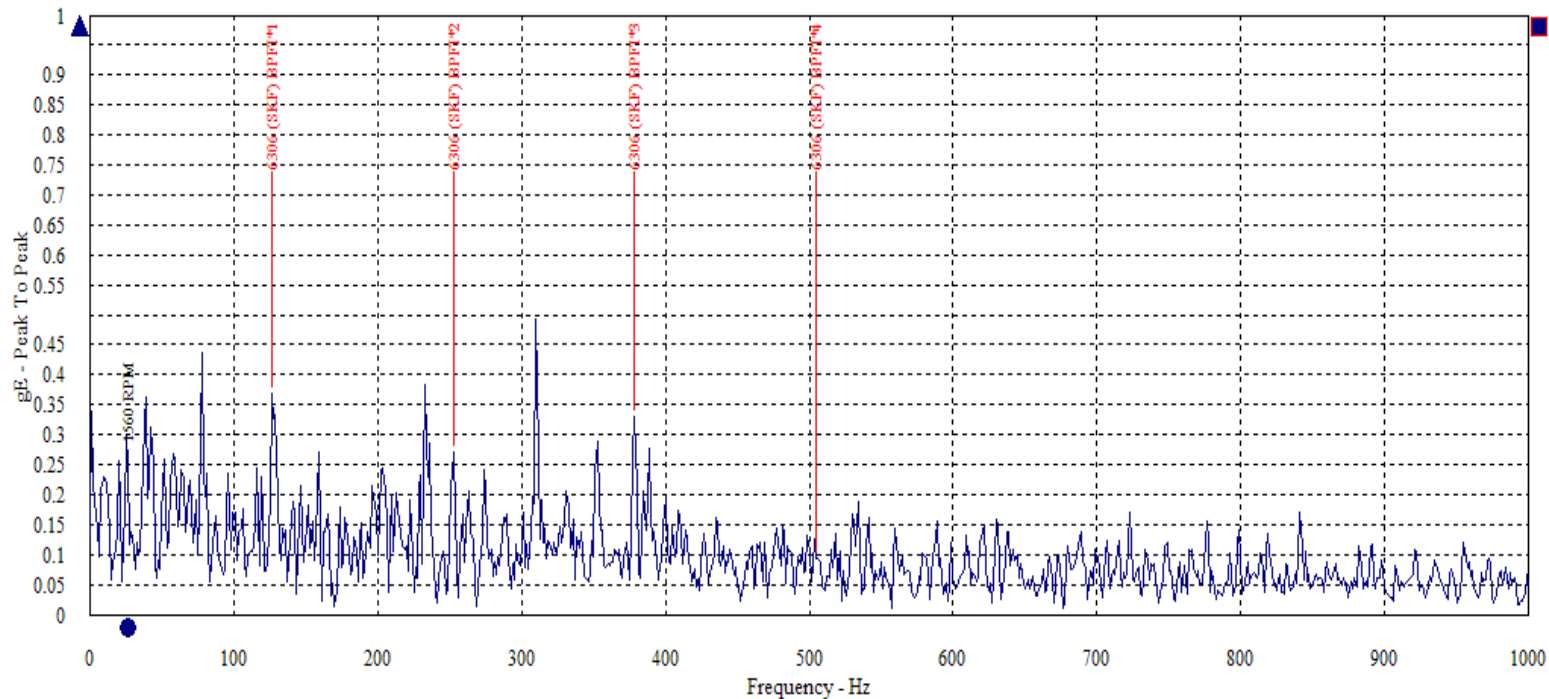


Falha na pista externa do rolamento 6306 C3

Conjunto Motor Bomba



6306 (SKF) BPFI, (1x: Amp: 0.3684, Freq: 126.3), (2x: 0.2704, 252.5), (3x: 0.3305, 378.8), (4x: 0.0943, 505)



Falha na pista interna do rolamento 6306 C3

Torre de Resfriamento Eletrólise



Eixo de saída: 223rpm
Eixo pinhão 88 dentes

Eixo intermediário: 870rpm
Eixo engrenagem 74 dentes

Eixo intermediário
Eixo pinhão 22 dentes

Eixo de entrada: 1775
Eixo pinhão: 33 dentes

Torre de Resfriamento Eletrólise

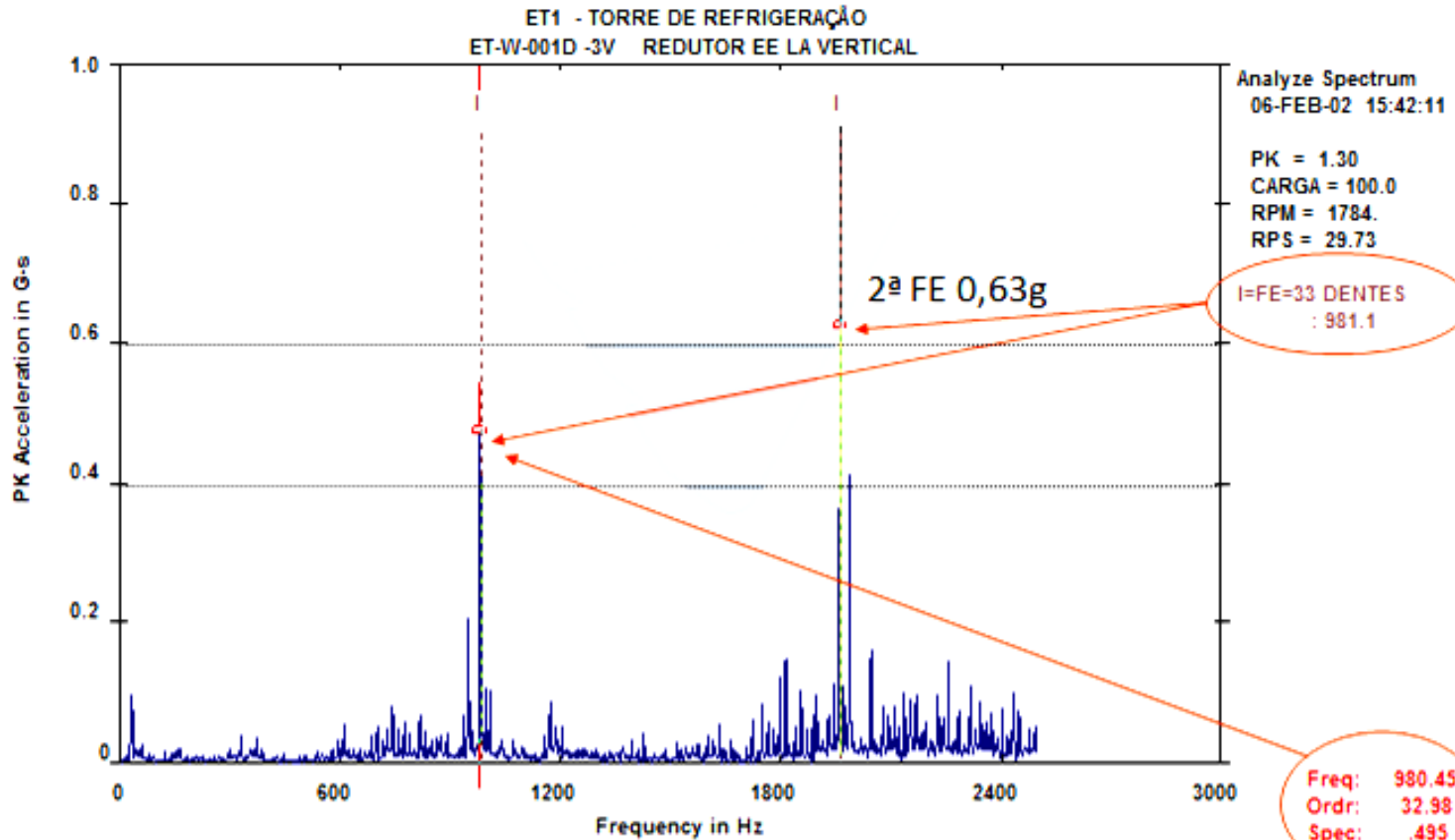


Eficiência Energética na Indústria - Novos Desafios das Técnicas Preditivas
Prof. D.Sc. Jorge Nei Brito

Torre de Resfriamento Eletrólise



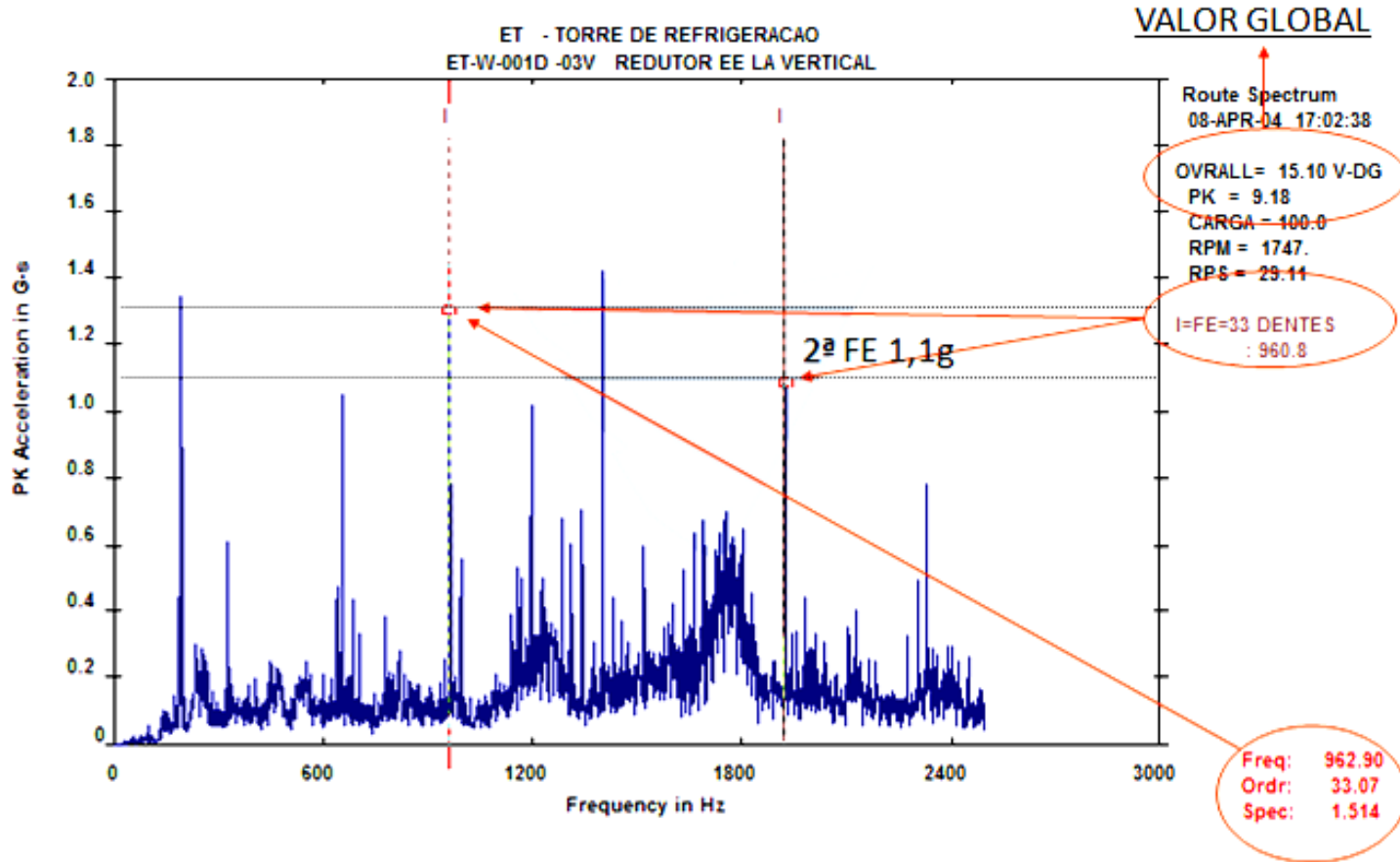
Antes da troca



Torre de Resfriamento Eletrólise



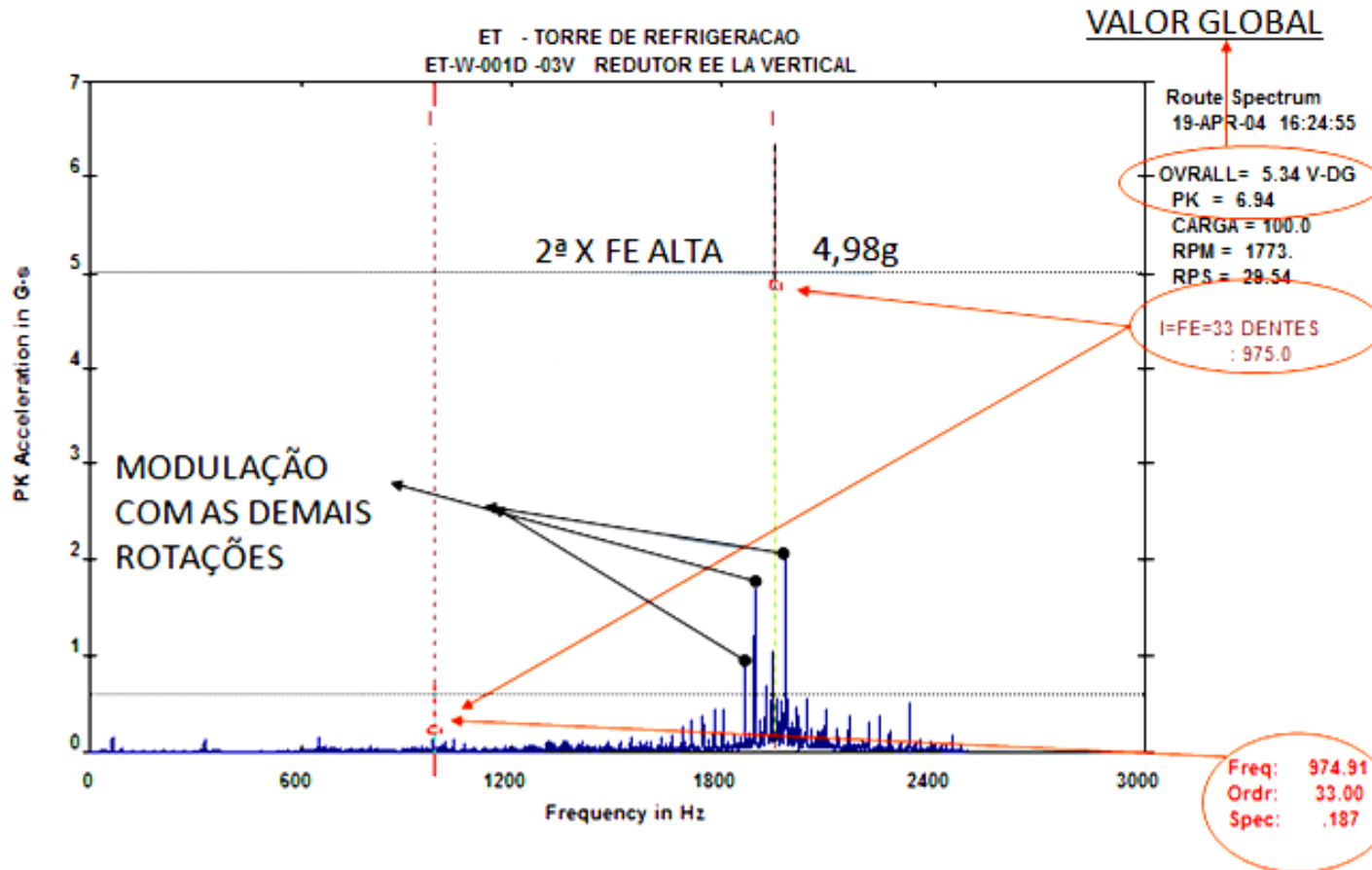
Antes da troca



Torre de Resfriamento Eletrólise



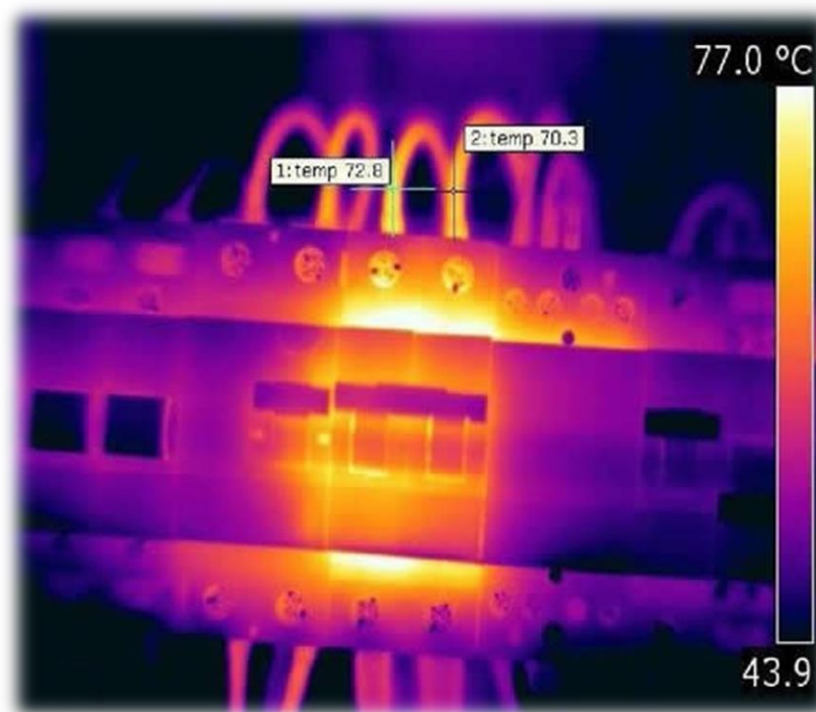
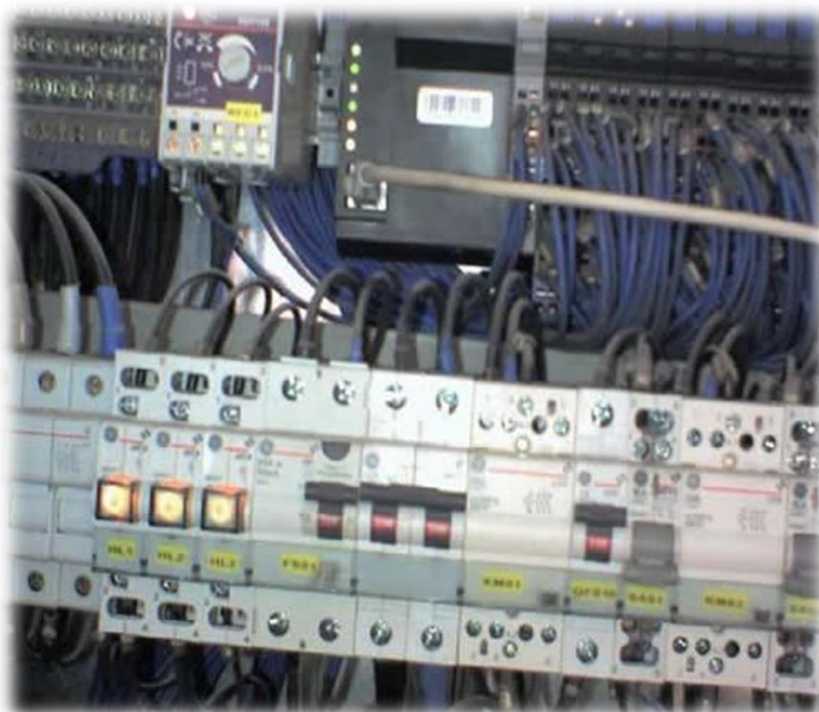
APÓS da troca



Torre de resfriamento eletrólise



Termografia Infravermelha

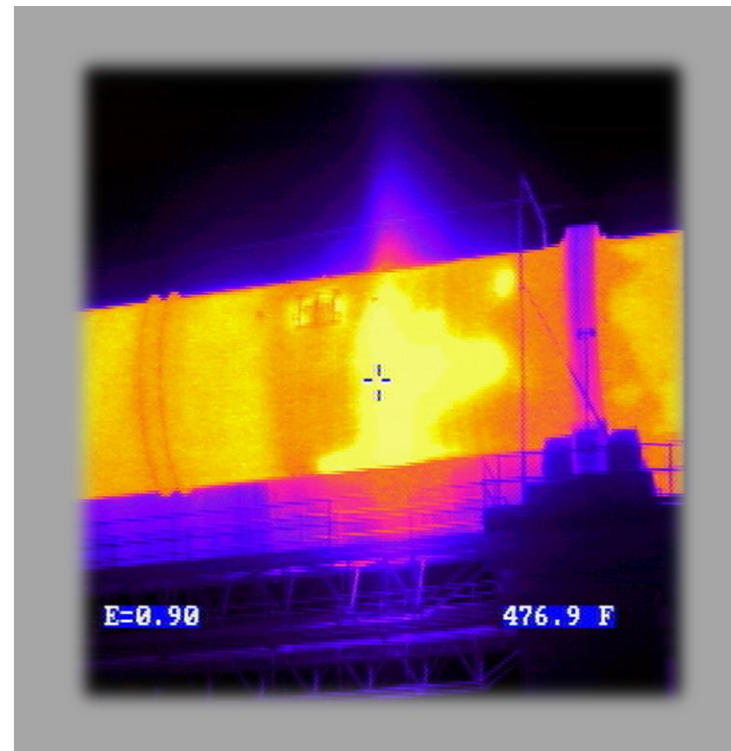


Análise Termográfica



TERMOGRAFIA:

Técnica preditiva que permite o acompanhamento de temperaturas e a formação de **imagens térmicas**, conhecidas por **TERMOGRAMAS**.



Análise Termográfica



Tudo: constantemente perde calor para o meio ambiente.

Este calor: está na forma invisível de radiação infravermelha.

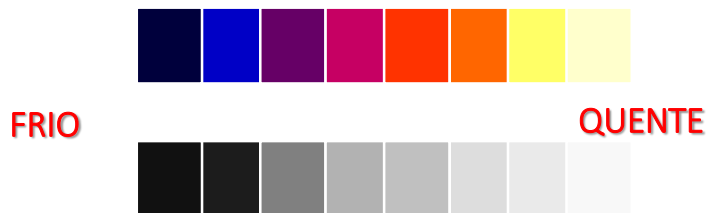
TERMOGRAFIA: técnica de ver este calor invisível.



Análise Termográfica



- TERMOGRAFIA: é uma representação visual de um quadro da **TEMPERATURA**.



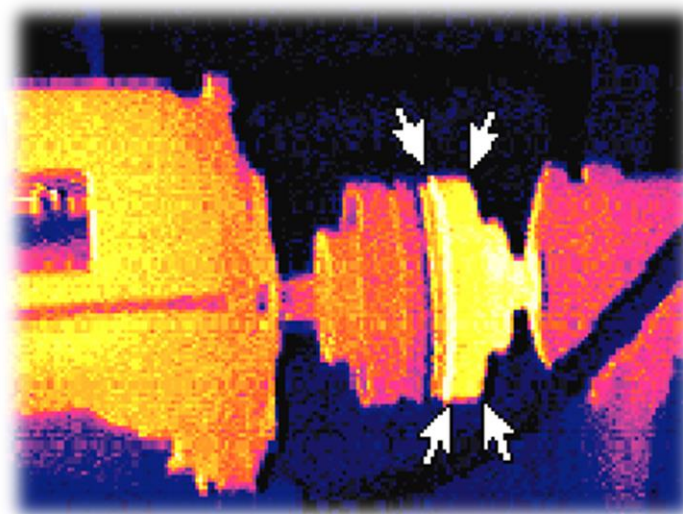
- IMAGENS INFRAVERMELHAS: criam este quadro pela detecção do calor emanado de uma superfície e o transforma em **SINAIS ELÉTRICOS**.

Análise Termográfica

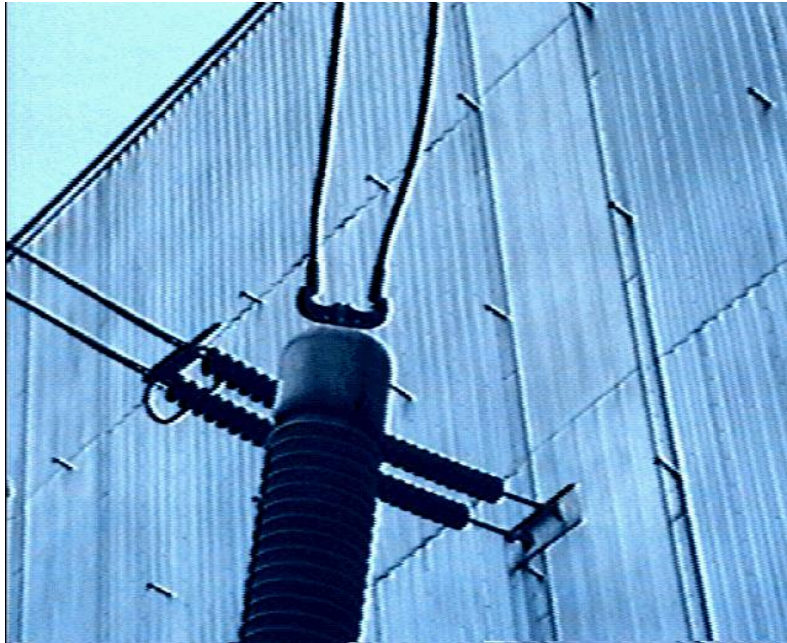


DIFERENTES TEMPERATURAS: correspondem à diferentes níveis de energia os quais são vistos por cores diferentes.

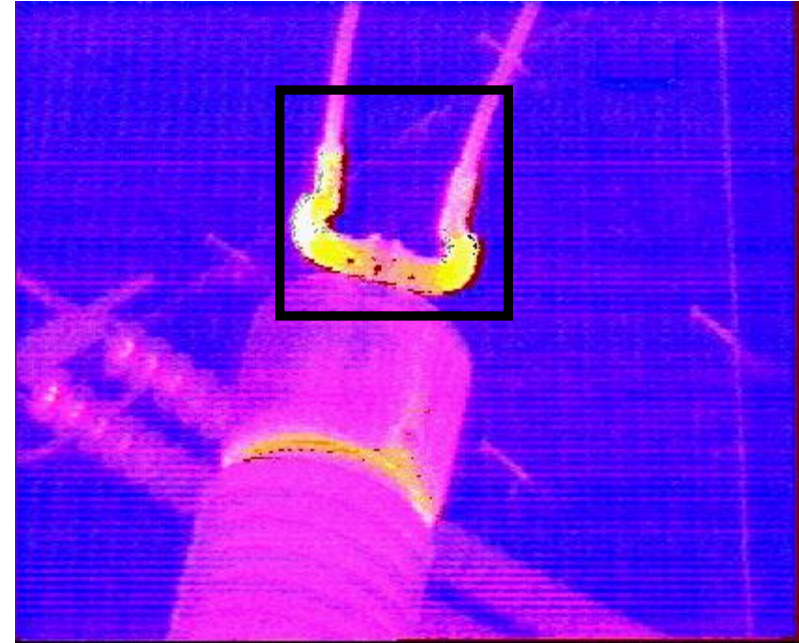
- Segura
- Rápida
- Análise tempo real
- Compacta
- Custo eficiente
- Aumento confiabilidade



Ver o Calor é ver o Problema

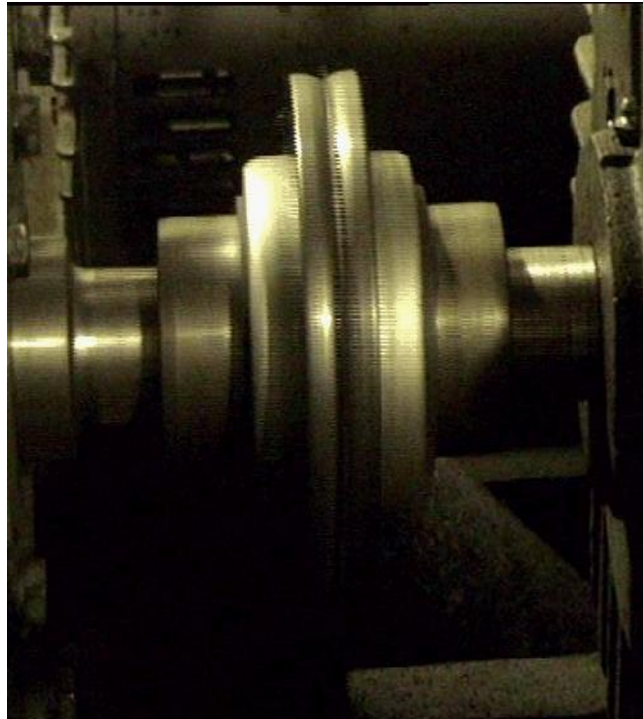


Problema?

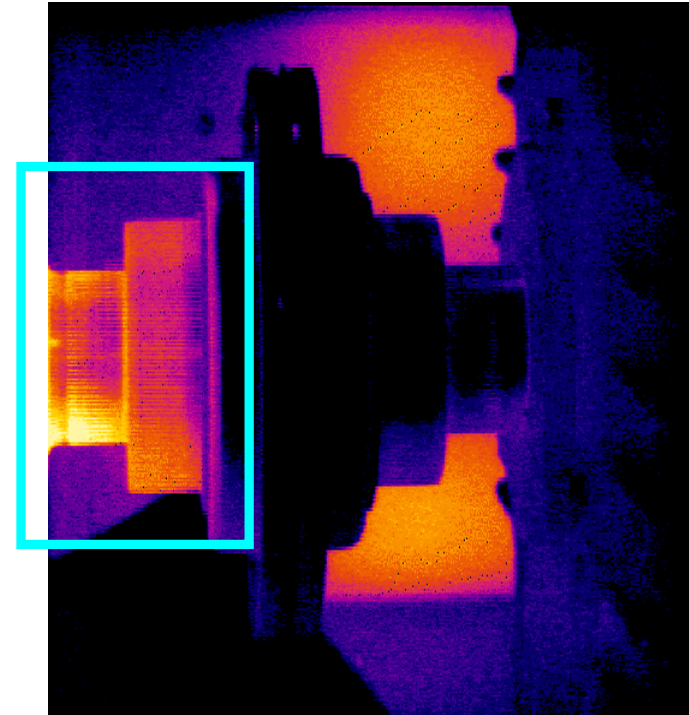


Termografia mostra o
Calor e o Problema

Ver o Calor é ver o Problema



Problema?

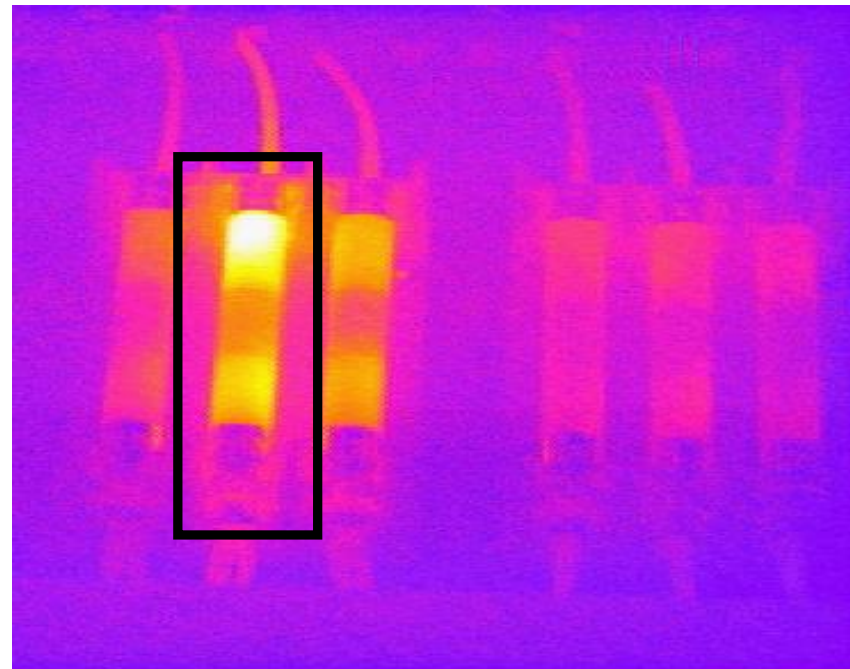


Termografia mostra o
Calor e o Problema

Ver o Calor é ver o Problema



Problema?

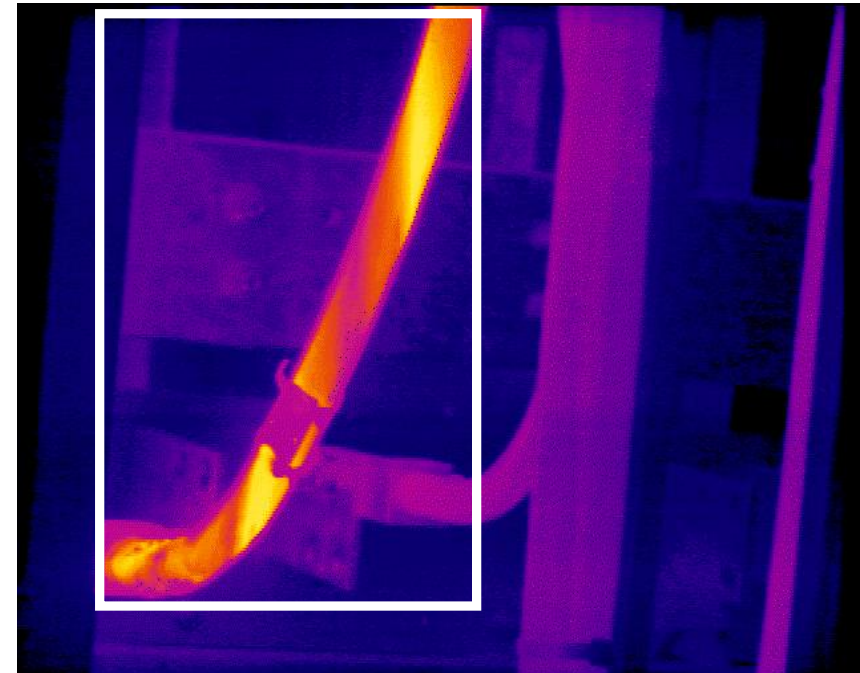


Termografia mostra o
Calor e o Problema

Ver o Calor é ver o Problema



Problema?



**Termografia mostra o
Calor e o Problema**

Termografia - Civil



- Em qualquer tipo de construção: onde o calor, ou a variação do calor, possa trazer alguma **INFORMAÇÃO SIGNIFICATIVA.**



- Se houver um cano com água quente passando por dentro dessa parede: o percurso do cano será **DESENHADO TERMICAMENTE.**

Termografia - Elétrica



- A detecção de um componente defeituoso: baseia-se na elevação de sua temperatura em função de um aumento anormal de sua resistência ôhmica (relações corrente/resistência).

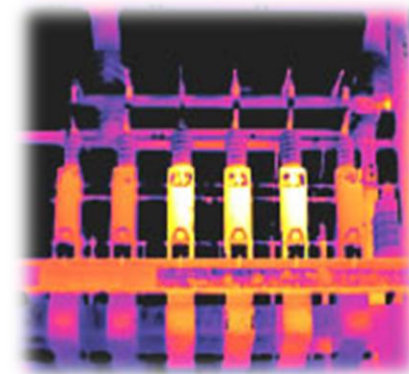


- PROVOCADOS: por conexões frouxas, corroídas, oxidadas ou por falhas do componente em si.
- *National Fire Protection Association*: o **PRINCIPAL CAUSADOR** de incêndios são os sistemas elétricos, totalizando (17%).

Termografia - Elétrica

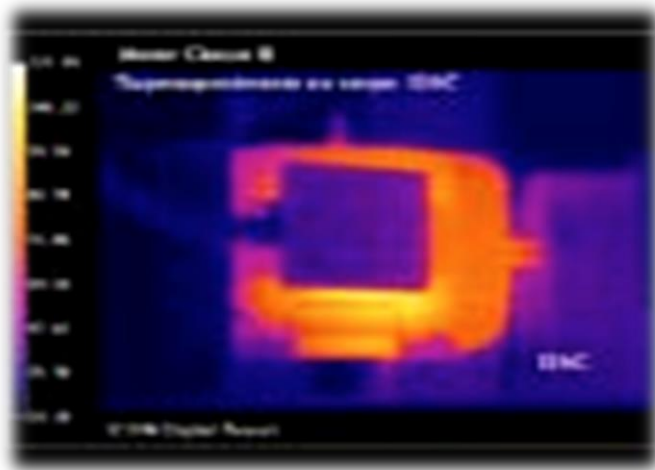


- Ocorrência de falhas na rede de transmissão e distribuição causa: **interrupção no fornecimento de ENERGIA ELÉTRICA.**



- Ocorrência de falhas nos sistemas industriais: **provoca GRAVES PROBLEMAS** na produção.

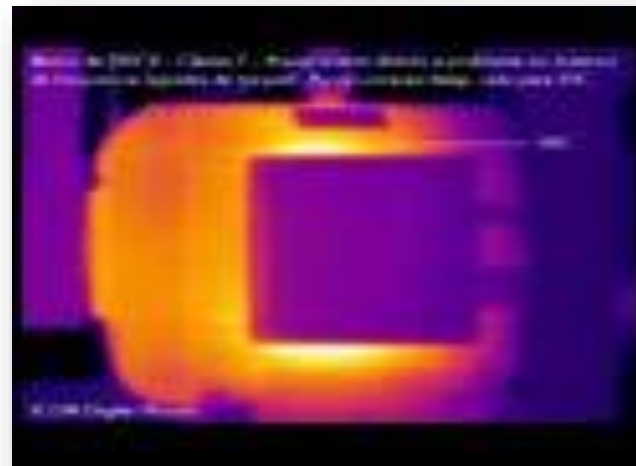
Termografia - Elétrica



- Tipo de aquecimento mais frequente em um motor: é o que se **MANIFESTA** no **CORPO** do mesmo.

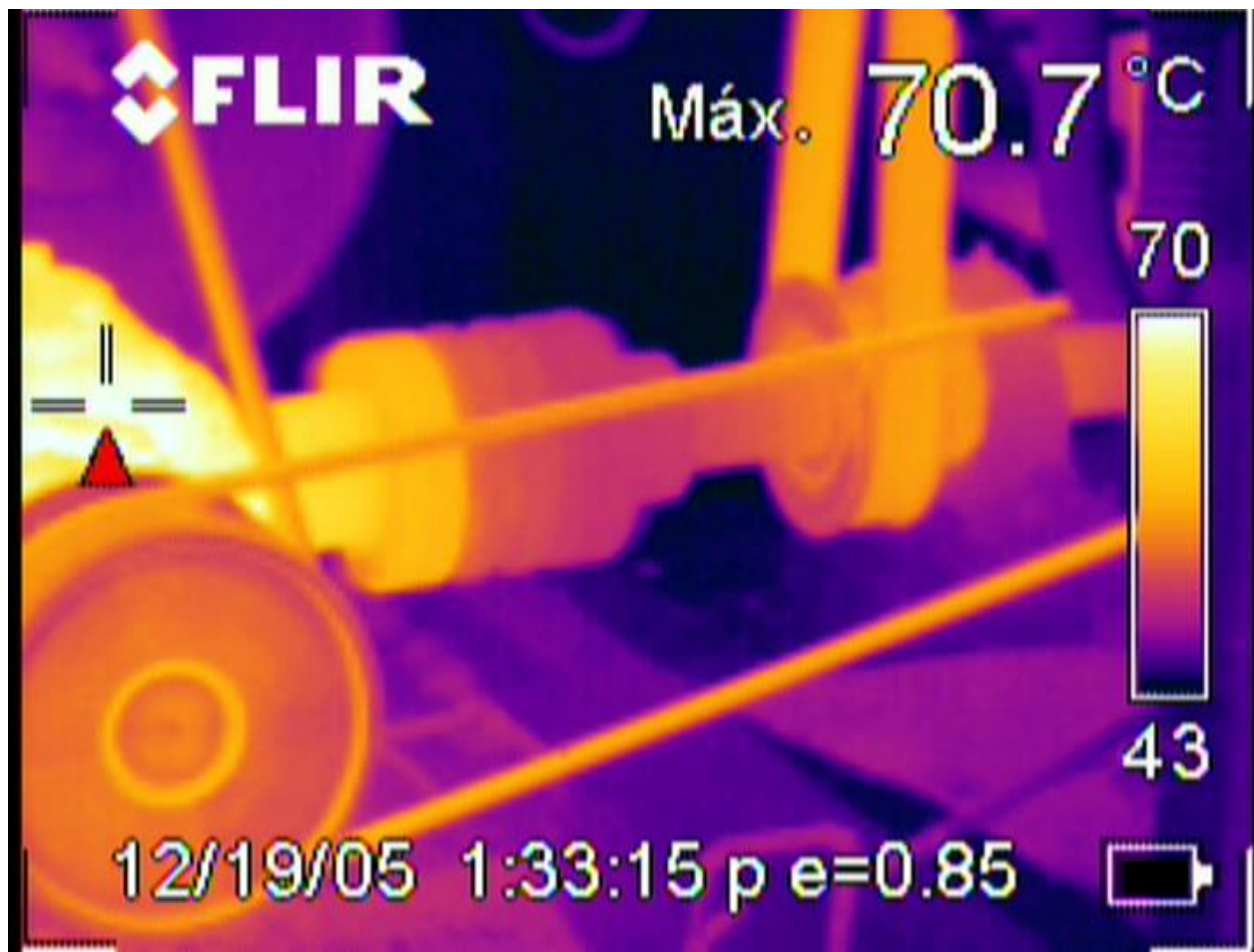
- O motor classe B apresenta temperatura de 126°C: foi retirado de operação e apresentava sinais de **DETERIORAÇÃO** da isolação interna (Causa Interna).

Termografia - Elétrica

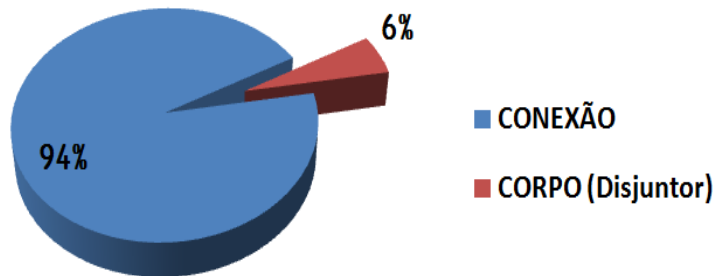


- Motor classe F de 150 CV, com temperatura de 141°C: teve a razão de seu aquecimento detectada no inversor de frequência, mais precisamente nos **AJUSTES de TORQUE** (Causa Externa).
- Corrigido o problema: Temp. do motor caiu para **70°C**.

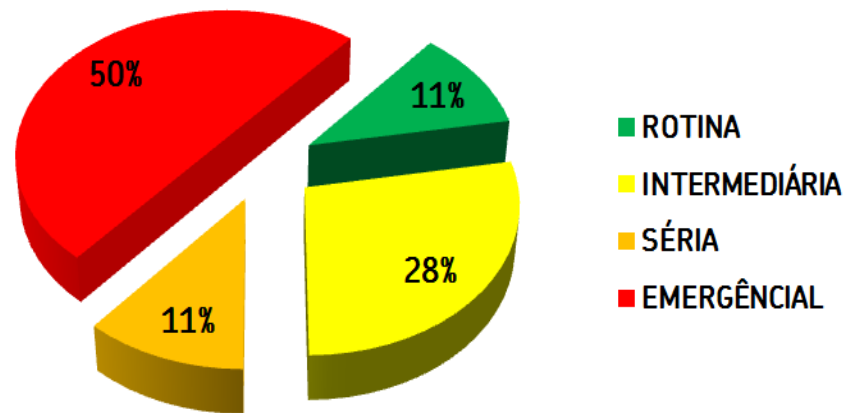
Transmissão - Redutor



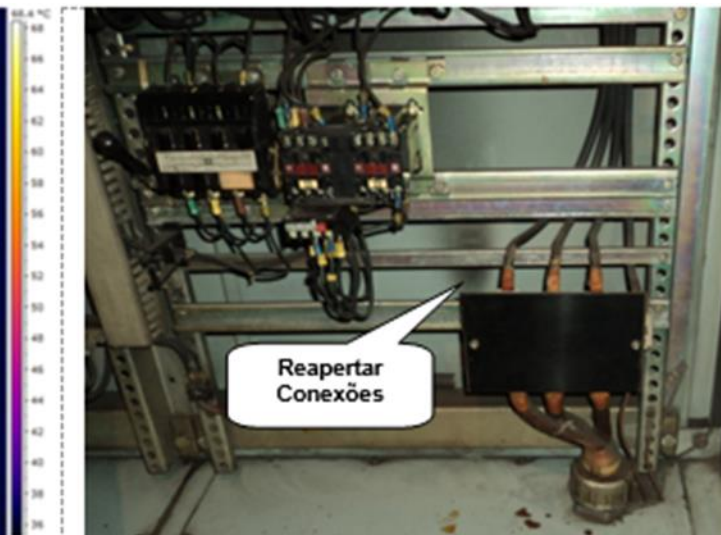
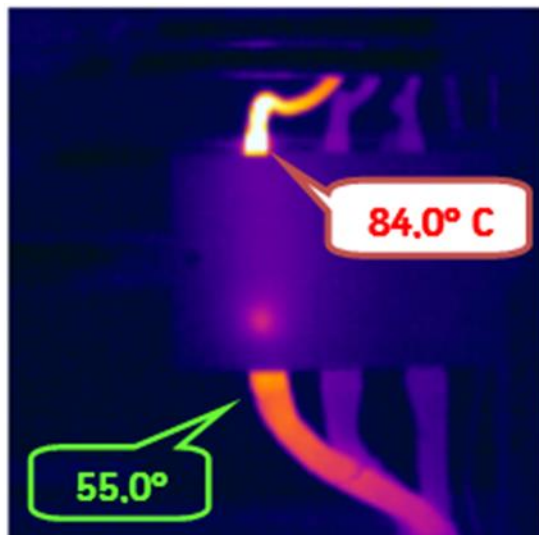
Pinéis Elétricos



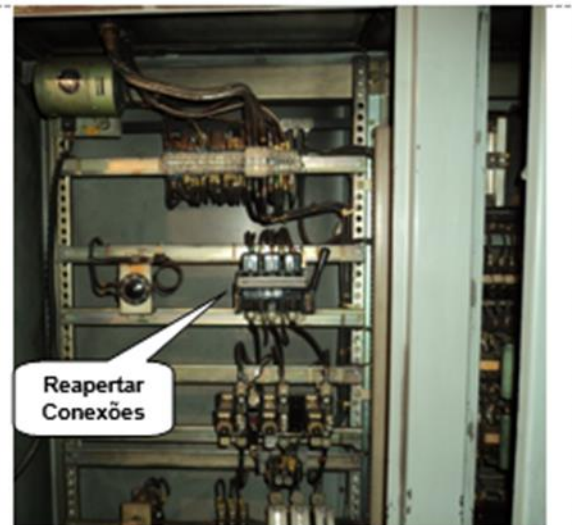
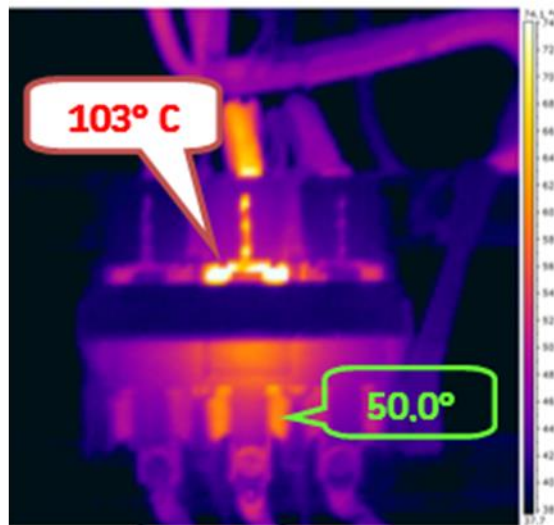
Principais Componente Defeituosos.



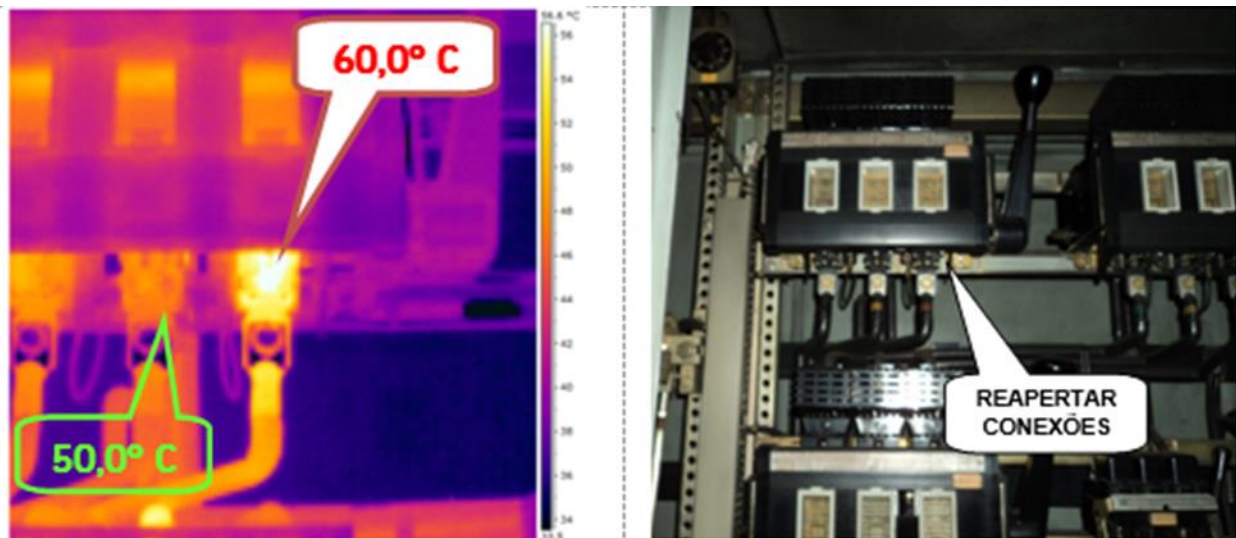
Severidade das falhas encontradas.



ITEM	COMENTÁRIO	
Localização da Falha	- Estação Central do Brasil - Metro Rio - Rio de Janeiro - Painel do Posto E 1º Ventilador. - Alimentação do Painel do Ventilador 1 (painel da esquerda)	
Descrição da Falha Data	- Conexão Com Perfil Termico Anormal. - 13 - Outubro - 2011	
Temperaturas	- Temp. Medida: - Temp. de Referência: - Temp. de Background (Fundo do Painel): - Temp. Ambiente: - Delta Temp. (Temp. Med. - Temp. Ref.):	84,0 °C 55,0 °C 36,0 °C 34,0 °C 29,0 °C
Recomendações Prioridade EMERGENCIAL	Reparar imediatamente e verificar a integridade do cabo de conexão. Inspeccione todos contatos, limpe, repare e reapertar as conexões superiores e inferiores. Solicite Investigação junto ao Dept. Elétrico.	



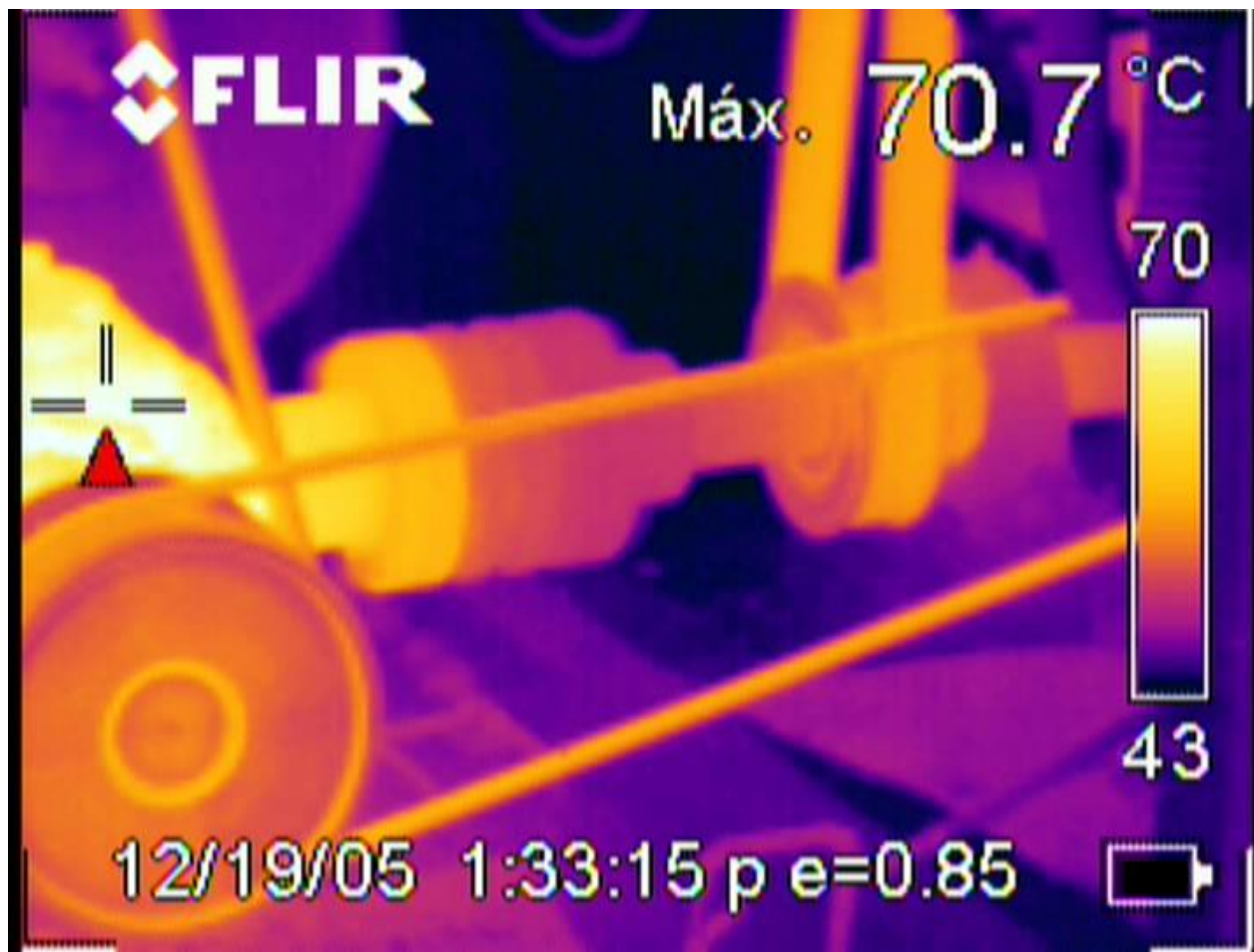
ITEM	COMENTÁRIO	
Localização da Falha	- Estação Central do Brasil – Metro Rio – Rio de Janeiro - Painel do Posto E 2° Ventilador. - Conexão superior da chave seccionadora SF1.	
Descrição da Falha Data	- Conexão Com Perfil Termico Anormal. - 13 - Outubro - 2011	
Temperaturas	- Temp. Medida: - Temp. de Referência: - Temp. de Background (Fundo do Painel): - Temp.Ambiente: - Delta Temp. (Temp. Med. – Temp. Ref.):	103,0 °C 50,0 °C 36,0 °C 34,0 °C 53,0 °C
Recomendações Prioridade EMERGENCIAL	Reparar imediatamente e verificar a integridade do cabo de conexão. Inspeccione todos contatos, limpe, repare e reapertar as conexões superiores e inferiores. Solicite Investigação junto ao Dept. Elétrico.	



ITEM	COMENTÁRIO	
Localização da Falha	- Estação Central do Brasil - Metro Rio - Rio de Janeiro - Comando de Ventilação - Painel de Força. - Chave-Fusível Superior Esquerdo, Conexão Inferior da Direita.	
Descrição da Falha Data	- Conexão Com Perfil Termico Anormal. - 13 - Outubro - 2011	
Temperaturas	- Temp. Medida: - Temp. de Referência: - Temp. de Background (Fundo do Painel): - Temp.Ambiente: - Delta Temp. (Temp. Med. - Temp. Ref.):	60,0 °C 50,0 °C 36,0 °C 26,0 °C 10,0 °C
Recomendações Prioridade ROTINA	Reparar de conformidade com as datas do plano regular de manutenção. Inspeção os capacitores para verificar a diferença de temperatura. Solicite Investigação junto ao Dept. Elétrico.	



Transmissão - Redutor



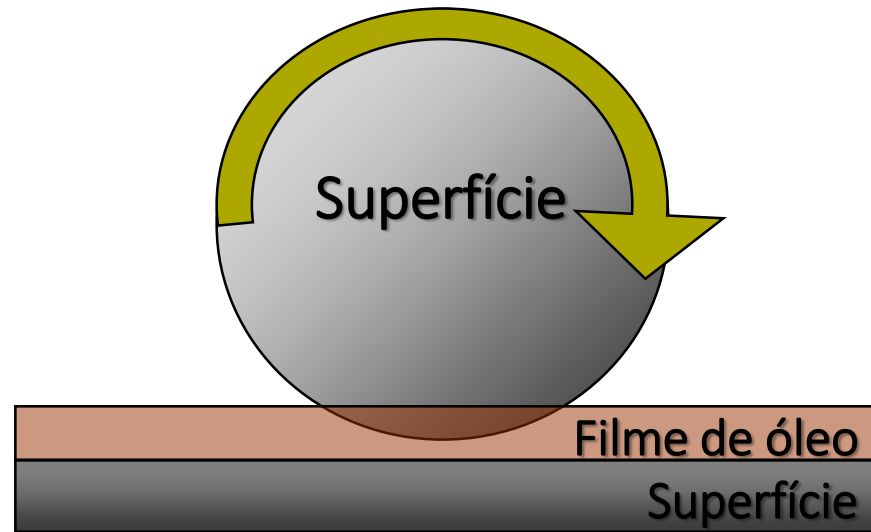
Análise de Óleo



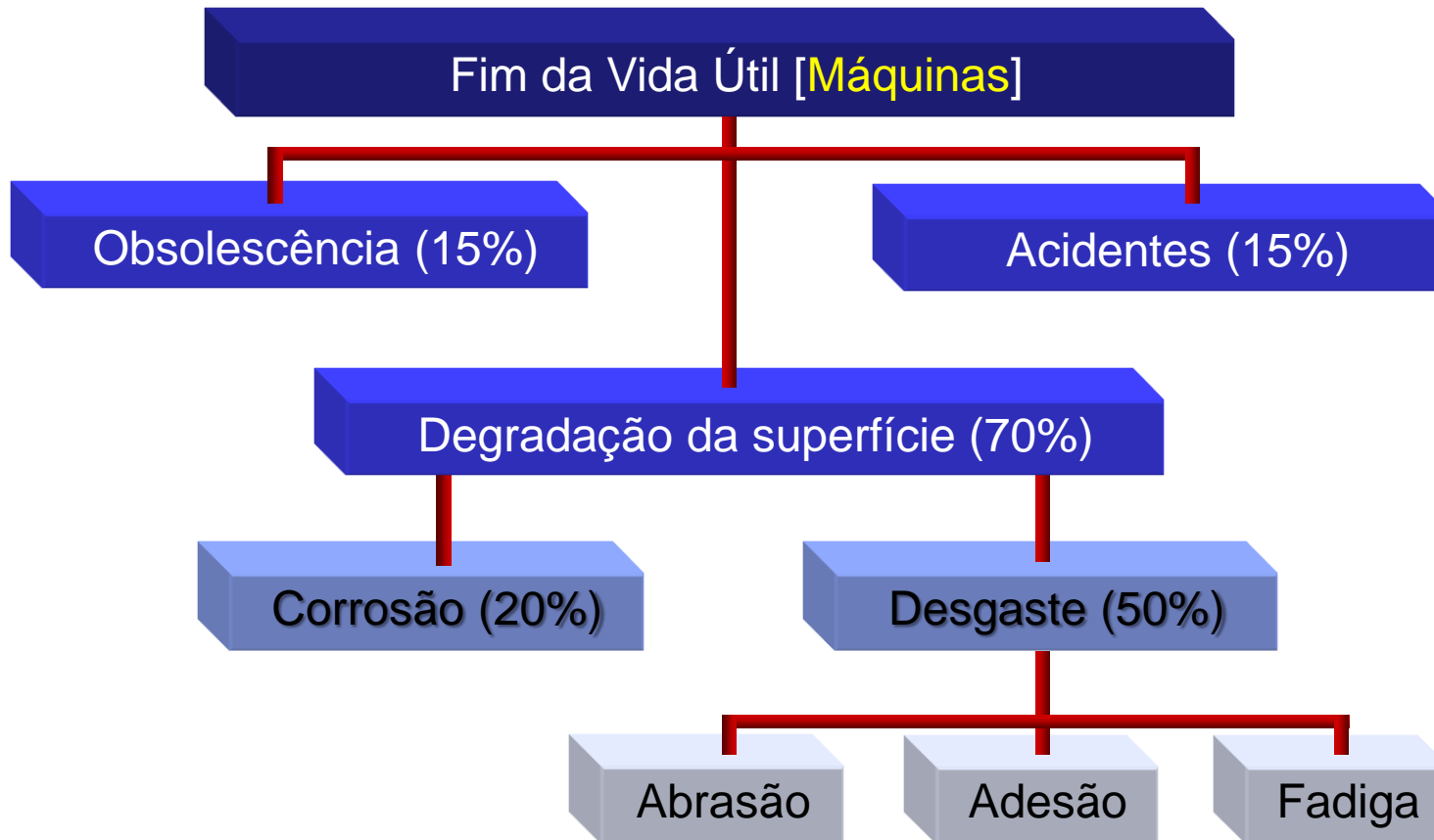
Análise de Óleo



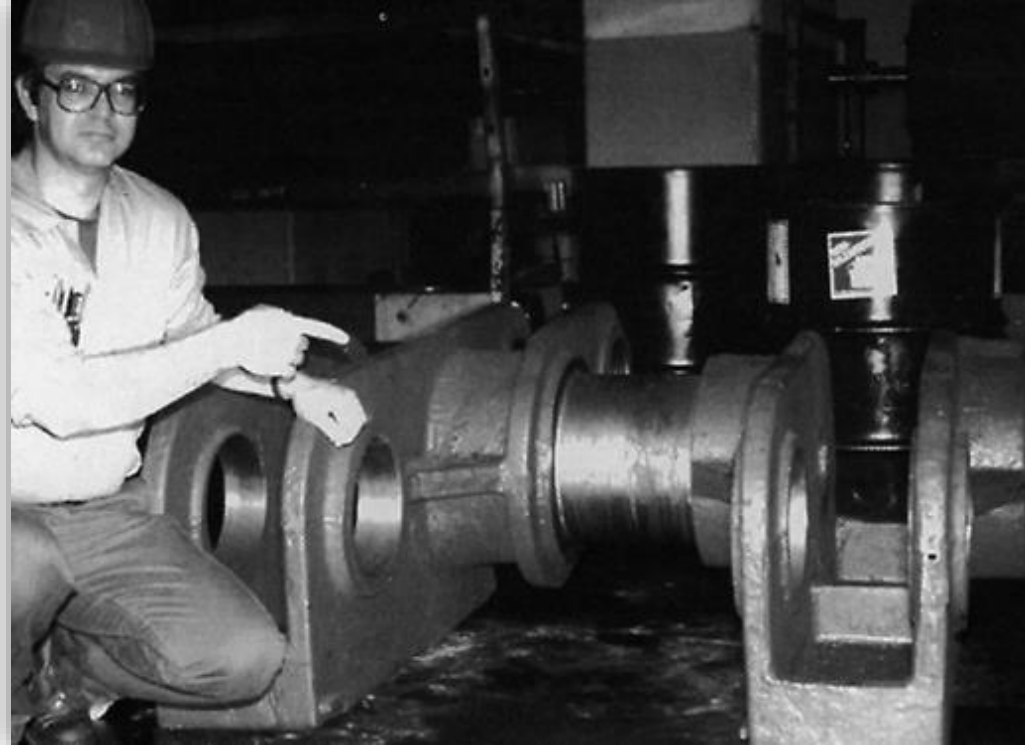
- Tribologia: Estudo que abrange projeto, fricção, desgaste e lubrificação da interação de superfícies em movimento relativo (como em mancais e engrenagens).



Estudo do M. I. T.



Falha na Prensa de 1000 t



Prensa com dois braços trincados e quatro buchas desgastadas

Eficiência Energética na Indústria - Novos Desafios das Técnicas Preditivas

Prof. D.Sc. Jorge Nei Brito

Falha na Prensa de 1000 t



Machine: 16-3 Hamilton 1000t Press						
Point: Lube						
Sample Date	Oil Life Index	Corrosion Index	Contam. Index	Ferrous Index	Large Contam.	Visc.
21-MAR-2005	17.6	0.0	19.7	40.0	F&NF	240
03-JUN-2005	9.7	0.0	11.7	58.0	F	230
28-JUN-2005	10.9	0.0	10.0	62.0	F	230
11-AUG-2005	8.7	1.0	6.1	5012.0	F	210

Broken rockers! Link bushings worn out!

- **Continuidade da operação:** sem a imediata manutenção: teria sido CATASTRÓFICA.
- **Vários dias de perda de produção:** foram evitados pela detecção dos problemas.
- **Economia:** \$50,000 em manutenção e \$1,000,000 em PERDA de PRODUÇÃO.

OilView 5100 e Viscosímetro 52DV



Relatórios Técnicos



DYNAMIC
services

RELATÓRIO TÉCNICO

Inspeção - Análise de Óleo REDUTORES

Fermag - Ferrita Magnéticas Ltda.

Unidade: Itabira - MG

06 - Fevereiro - 2012

1

DYNAMIC
services

RELATÓRIO TÉCNICO

Inspeção - Análise de Óleo

LSM BRASIL S.A

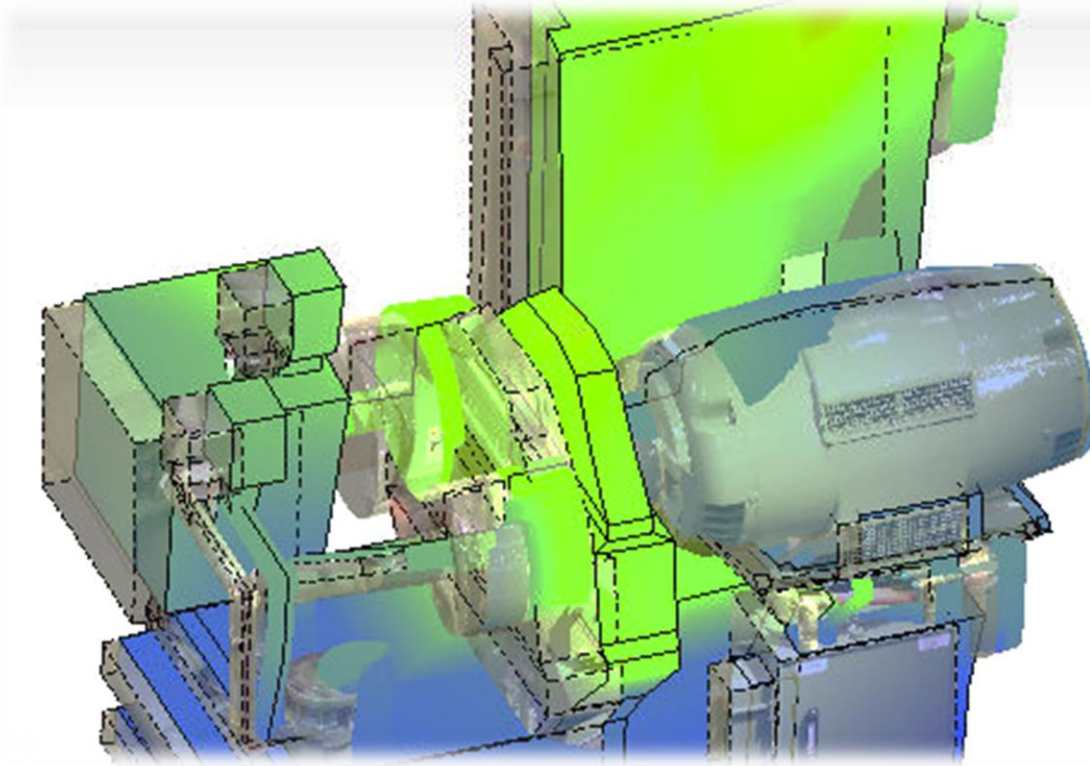
Unidade: São João del Rei - MG

02 - Abril - 2014

1



Operational Deflection Shapes



Operational Deflection Shapes



- **ODS - Operation Deflection Shape:** Tecnologia utilizada para visualizar a movimentação do equipamento e/ou estrutura para identificação de elementos de fixação com movimento ou comportamento indesejáveis.
- **Por exemplo:** uma vibração de 4,5 mm/s RMS, a 1.800 RPM representa um deslocamento de menos de 7 centésimos de milímetro PICO A PICO.
- **Estes fatos:** dificultam o uso da intuição ou bom senso para um modelamento eficaz em problemas estruturais sem o uso da tecnologia.



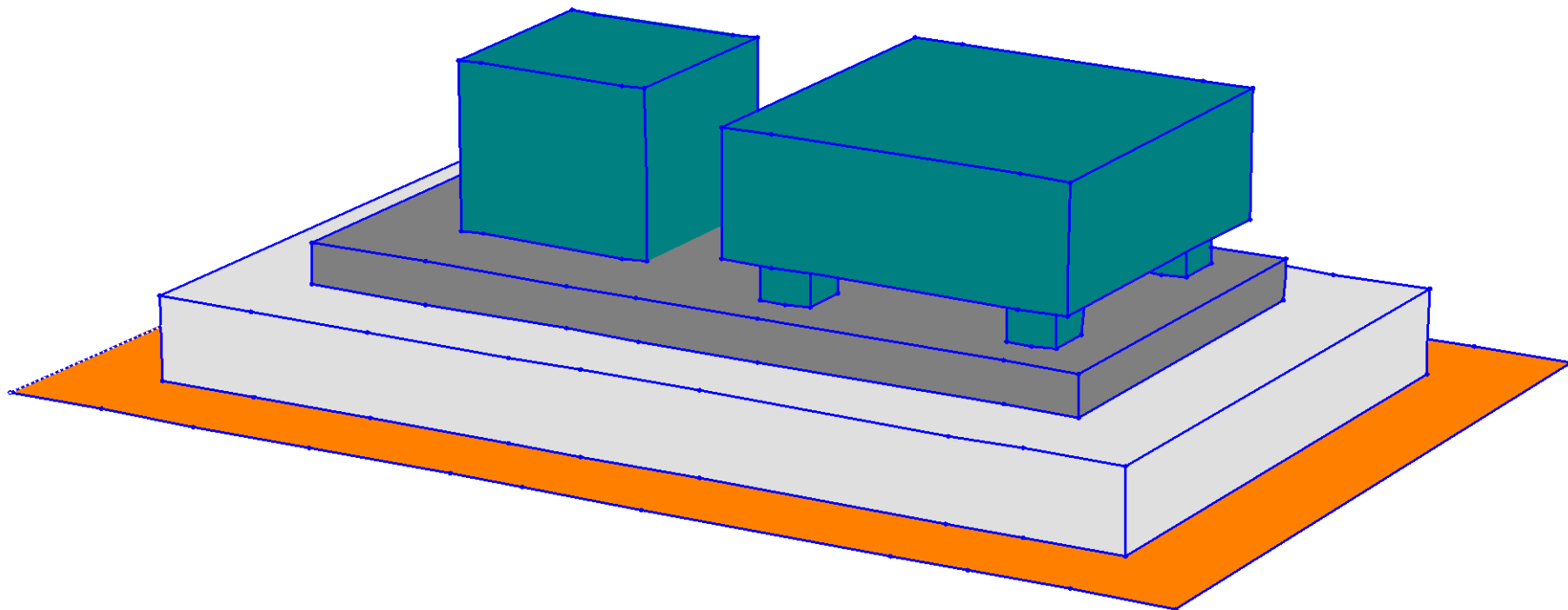
Aplicação

- Equipamentos ou estruturas em ressonância, ou seja, Frequência de Operação = **FREQUÊNCIA NATURAL**
- Quando: se deseja conhecer o **COMPORTAMENTO DINÂMICO** do equipamento ou estrutura.
- Formas de identificação de ressonância:
 1. Amplitude em uma direção maior do que outras (pelo menos 3 x).
 2. Espectro característico.
 3. Teste de impacto.

ODS: Conjunto Motor-Bomba



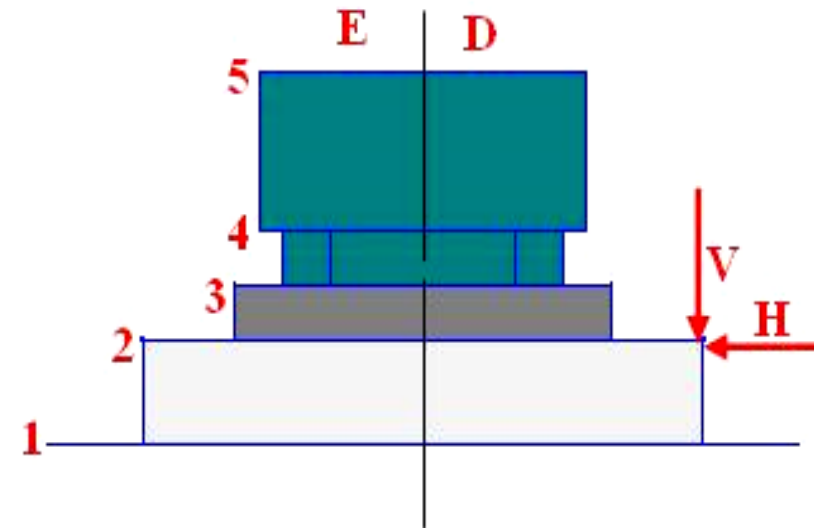
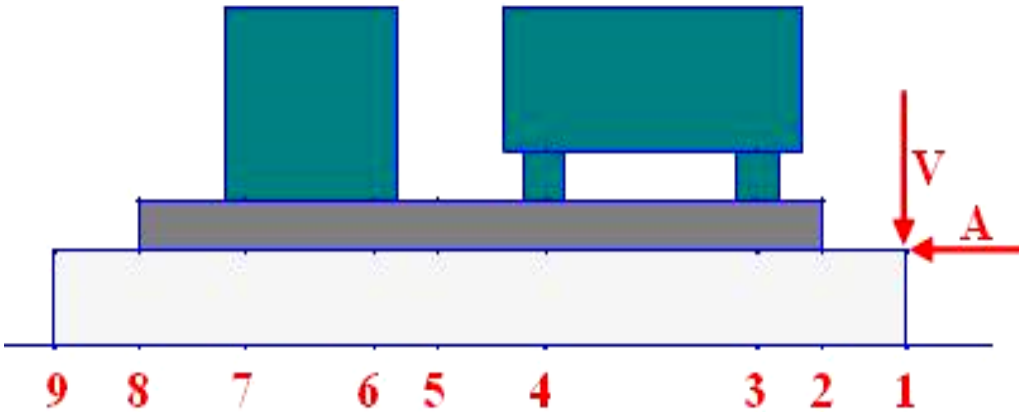
ODS: Modelo Computacional



Eficiência Energética na Indústria - Novos Desafios das Técnicas Preditivas

Prof. D.Sc. Jorge Nei Brito

ODS: Pontos de Medição



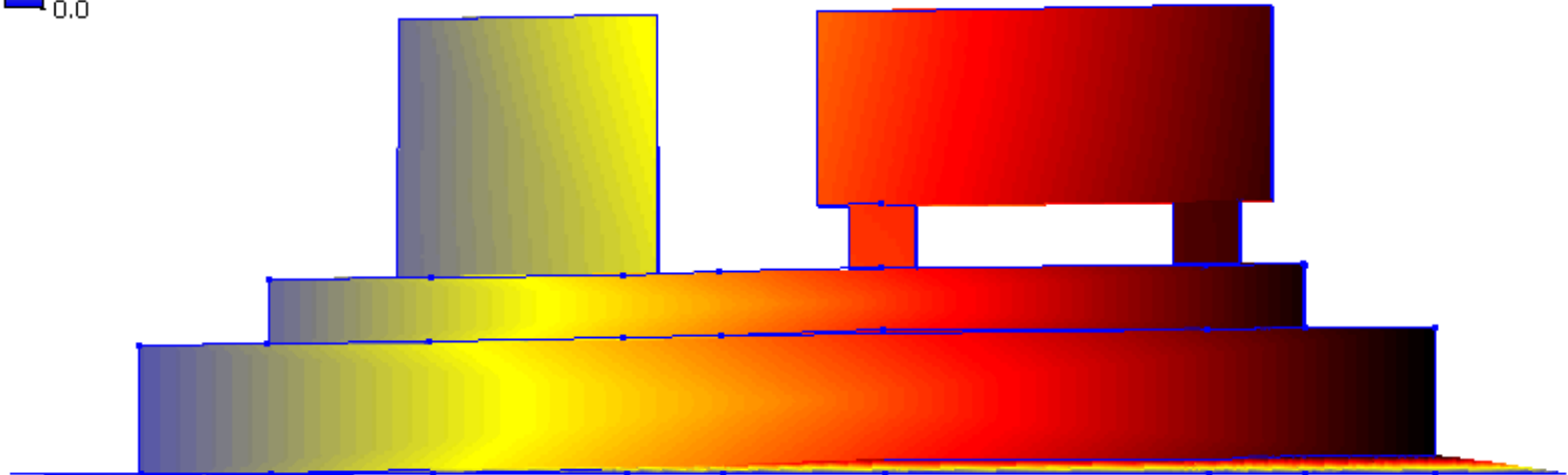
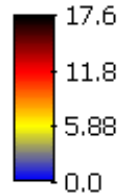
ODS: Conjunto Motor-Bomba



ODS: Nível de Vibração



Front (+X): 0.0 Hz



RECOMENDAÇÕES



- Para melhor resposta vibracional da estrutura fez-se um redimensionamento da estrutura onde é condicionado o conjunto **MOTOR - BOMBA 30T06**.
- Além dessas avaliações, deverá ser feito um teste de impacto a fim de se detectar a Frequência natural do conjunto, onde através desta, poderemos verificar se a estrutura e o conjunto se encontram em **RESSONÂNCIA**.

ALTERAÇÕES



ULTRASONOGRAFIA

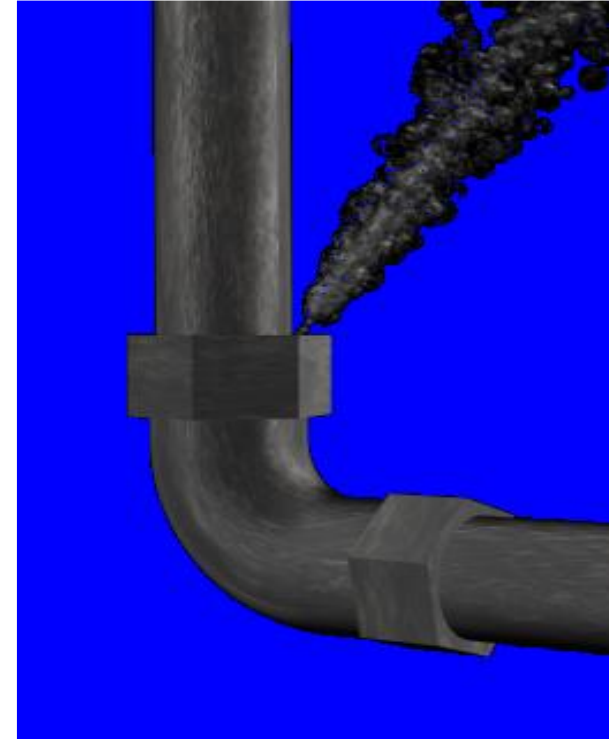


Eficiência Energética na Indústria - Novos Desafios das Técnicas Preditivas
Prof. D.Sc. Jorge Nei Brito

Vazamentos de Ar



- **Atualmente:** os vazamentos de ar são a principal causa de perda de energia em uma **INDÚSTRIA de PROCESSO**.
- Um vazamento de $0,7 \text{ cm}^2$ num sistema de $7,0 \text{ atm}$ com um custo típico de produção de $\text{R\$ } 0,60 / \text{m}^3$: resulta em uma perda anual de $\text{R\$ } 100.000,00$.



Purgadores Defeituosos



- **Purgadores defeituosos:** são a maior causa de perdas em linhas de vapor industriais.

- Os métodos tradicionais de detecção: são pouco eficientes.



- **Purgador 3/4" com 7,0 atm defeituoso:** perda anual de R\$ 70.000,00.

Válvulas parcialmente fechadas



- *Um problema até então de difícil detecção.*
- *Resulta em perdas e contaminação do produto.*

Efeito Corona e Descargas Elétricas



- Ocorrência comum em centros de controle de motores, unidades de chaveamento e conexão e linhas de transmissão.
- Provocam interrupções repentinas de produção e redução de **VIDA ÚTIL**.



Falhas de ROLAMENTOS



- 75% das falhas de rolamento são relacionadas com problemas de **LUBRIFICAÇÃO**.
- Provocam paradas não planejadas e **PERDAS de PRODUÇÃO**.

Características e Fraquezas



- Estes inimigos são: Invisíveis, inaudíveis e dificilmente detectáveis por instrumentos **TRADICIONAIS**.
- Por que? Porque somente liberam energia em frequências muito elevadas, situadas na faixa dos **ULTRA-SONS**.

Faixas de Frequências

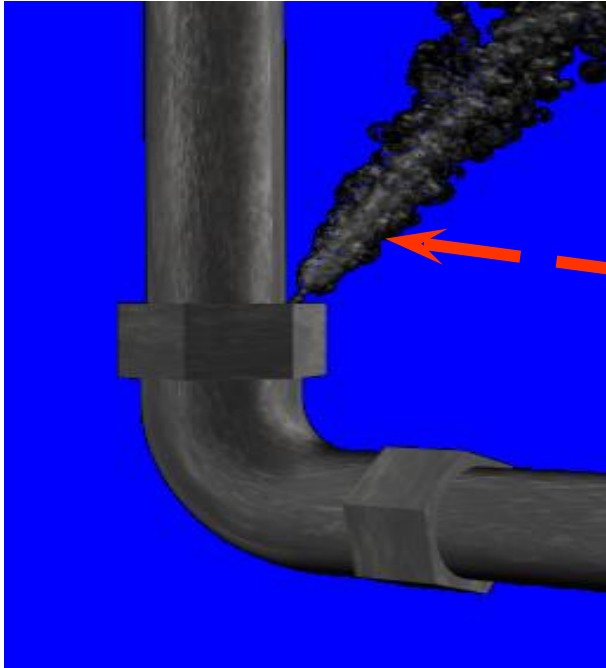


- O ouvido humano: é sensível a sons com frequências situadas na faixa de \cong **20 a 20.000 Hz**.

- Sons com frequências acima dessa faixa: **não podem ser ouvidos** e são denominados Ultra-sons.

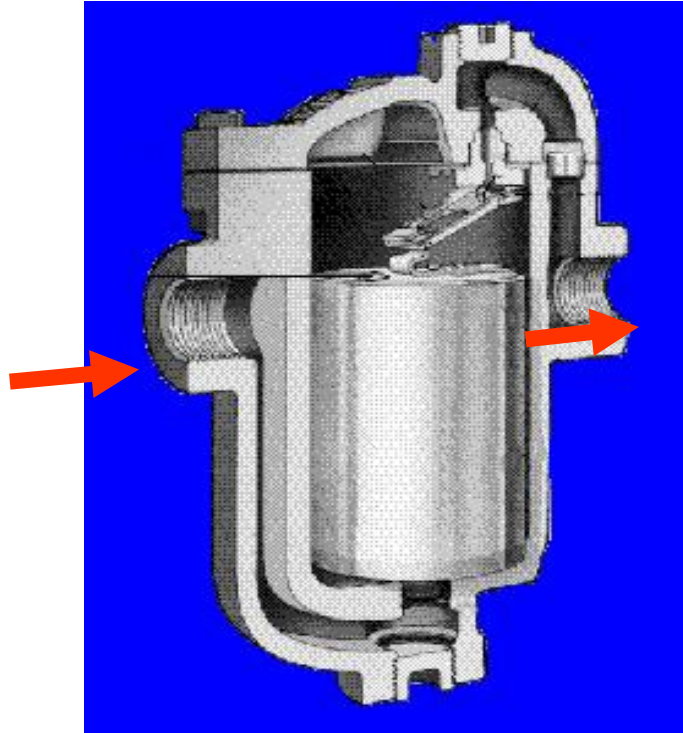


Vazamentos de Gás



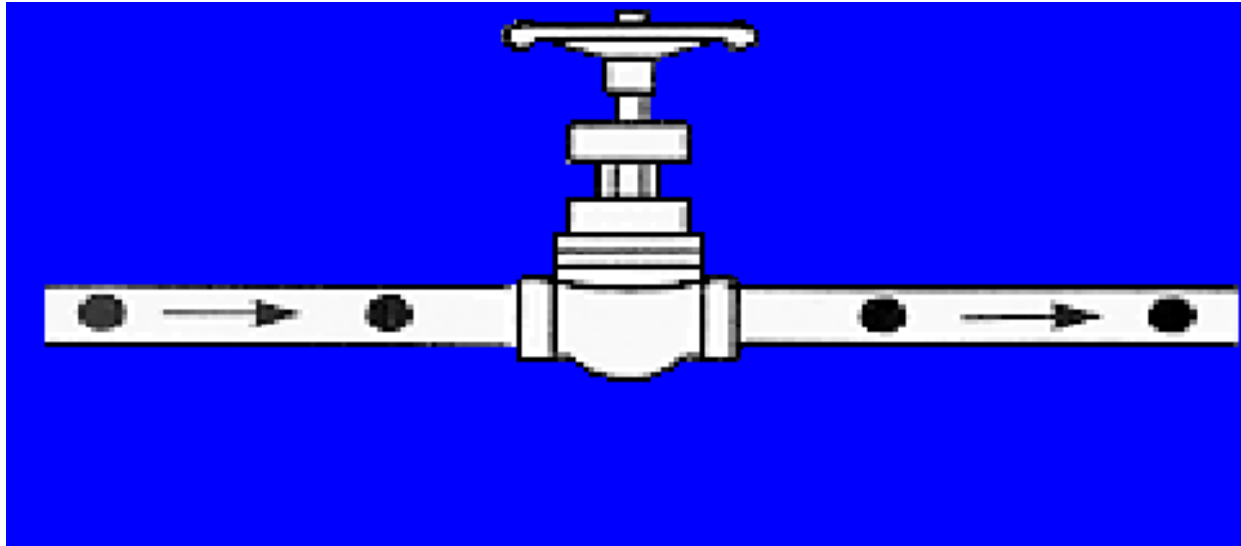
- Vazamentos de gás: causam turbulência com energia elevada em uma faixa de frequência em torno de 40 KHz.

Purgadores



- Purgadores em operação normal: possuem padrões bem definidos de ciclo operacional e de **DISTRIBUIÇÃO TÉRMICA**
- Quando sujeitos a impactos ou a fluxo turbulento: geram ultra-sons característicos.

Válvulas parcialmente fechadas



- Válvulas parcialmente fechadas ou com vazamento: geram turbulências que são transmitidas para a tubulação.



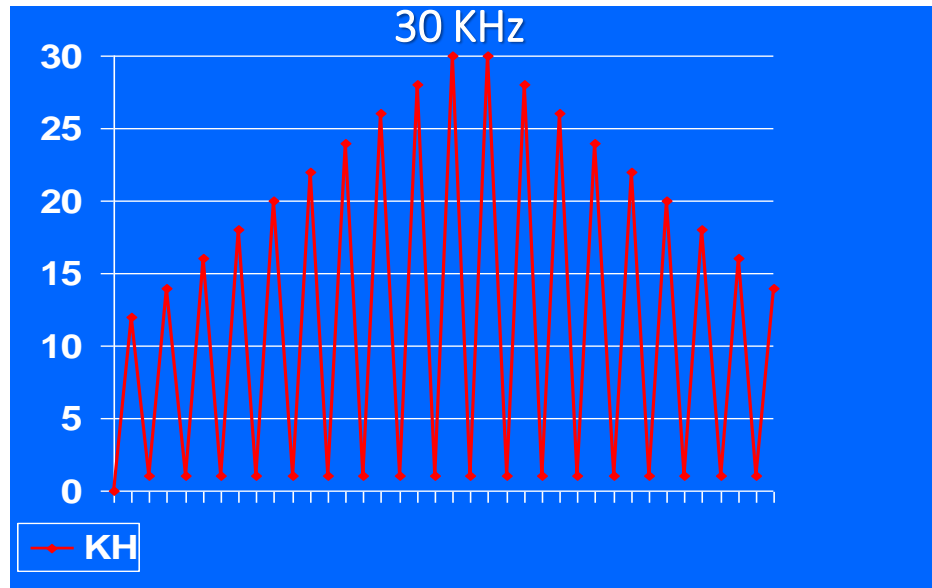
- Perdas de isolamento e **CONEXÕES IMPERFEITAS**: provocam ionização do ar ou corona que geram ondas de som de alta frequência.



Defeitos em Rolamentos



- *Rolamentos com problemas de lubrificação: geram ruídos de alta frequência na faixa ao redor de 30 KHz*



- Podem também sofrer aumento de temperatura.

Transcrição de Frequências



- Através de um processo denominado **HETERODINAÇÃO**: os sinais de Ultra-som são convertidas em sinais com frequências **AUDÍVEIS**.



Retorno de Investimento



American Electric Power - Usina John E. Amos

- Contribuição da **MBC** para o resultado de 1997 (US\$)
 - Análise de Óleo 74.039
 - Termografia 343.650
 - Análise de Motores 344.429
 - Teste Motores 381.097
 - **Ultra-Som 1.217.820**
 - Análise de Vibração \$4.223.850



US\$ 6,5 milhões

Muito Obrigado!



- D.Sc. Jorge Nei Brito
- Professor Associado do DEMEC/UFSJ
- Coordenador do Gep_LASID
- Presidente da FENEMI
- Coordenador Adjutno do CDEN
- (32) 9981-2419
- brito@ufs.edu.br
- <http://lattes.cnpq.br/8160466619165597>