



Eficiência Energética
X
Qualidade de Energia

1 - Eficiência em Energia Elétrica:

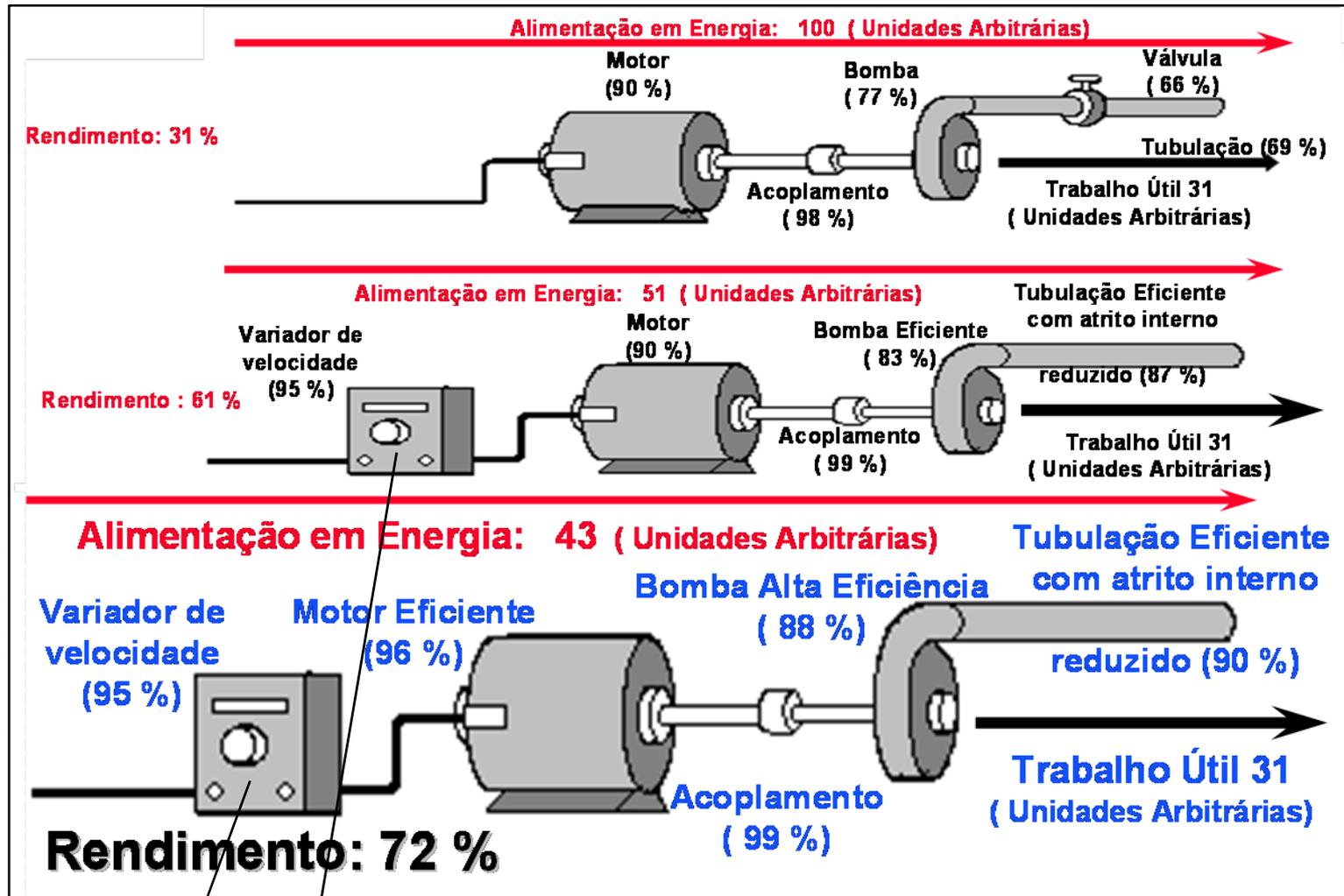
1.1 - Medidas para Eficientização Elétrica

- Implantação de Controladores de Velocidade em Motores Elétricos (Bombas, Ventiladores, Exaustores,...);
- Motores Elétricos de Alto Rendimento;
- Redimensionamento de Motores Elétricos;
- Iluminação Eficiente de Alto Rendimento;
- Geração Própria ou Co-geração;
- Correção Fator de Potência;
- Qualidade e Continuidade de Energia Elétrica.

1.2 - Principais Equip. Elétricos Envolvidos na Eficiência Energética:

- Motores Elétricos Alto Rendimento;
- Controladores de Velocidade;
- Softstarters;
- Luminárias de Alto Rendimento;
- Lâmpadas e Reatores Eletrônicos;
- Equipamentos de Compensação Reativa;
- Geradores de Energia Elétrica, etc...

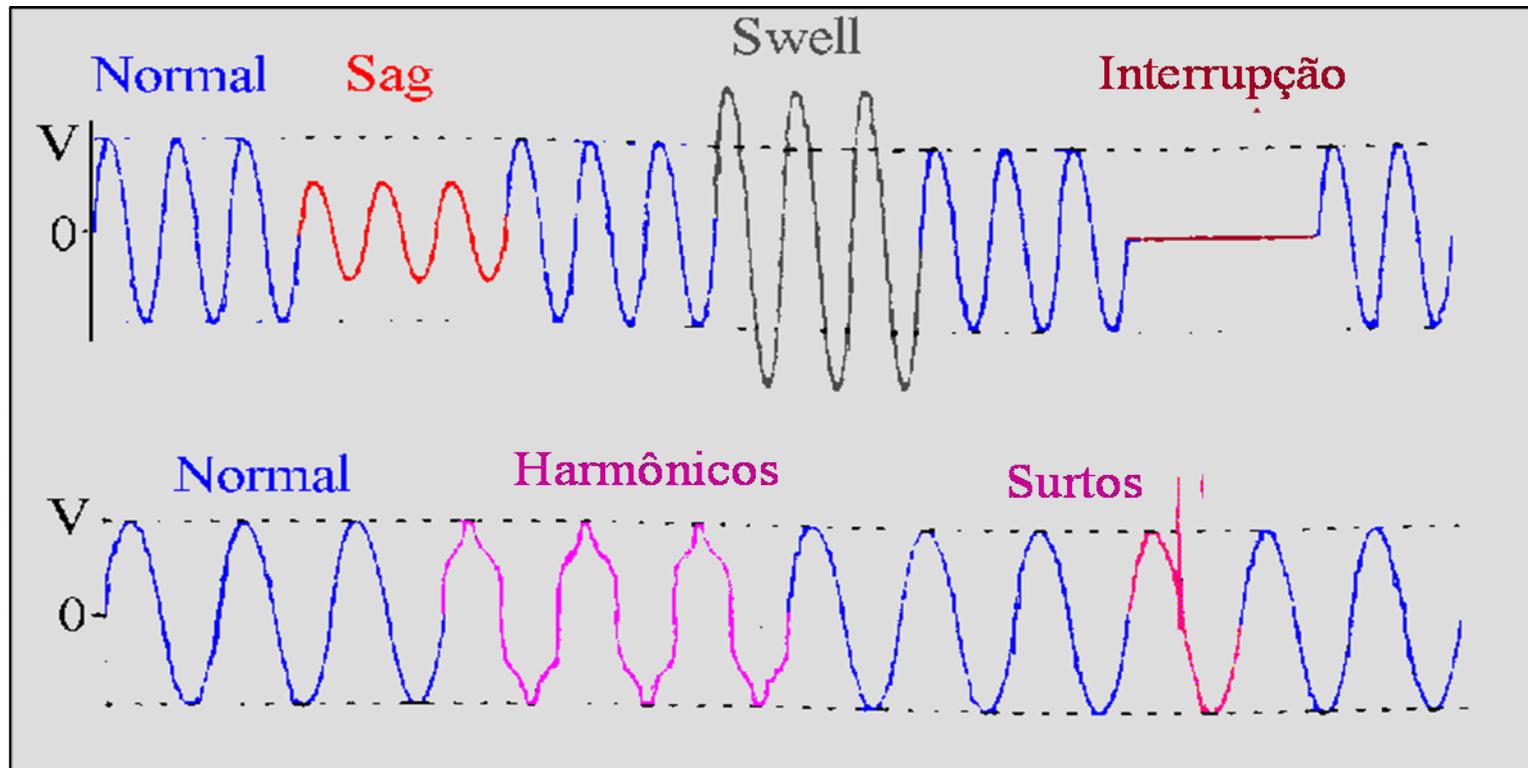
1.3 - Exemplo da EE em Sistemas de Bombeamento:



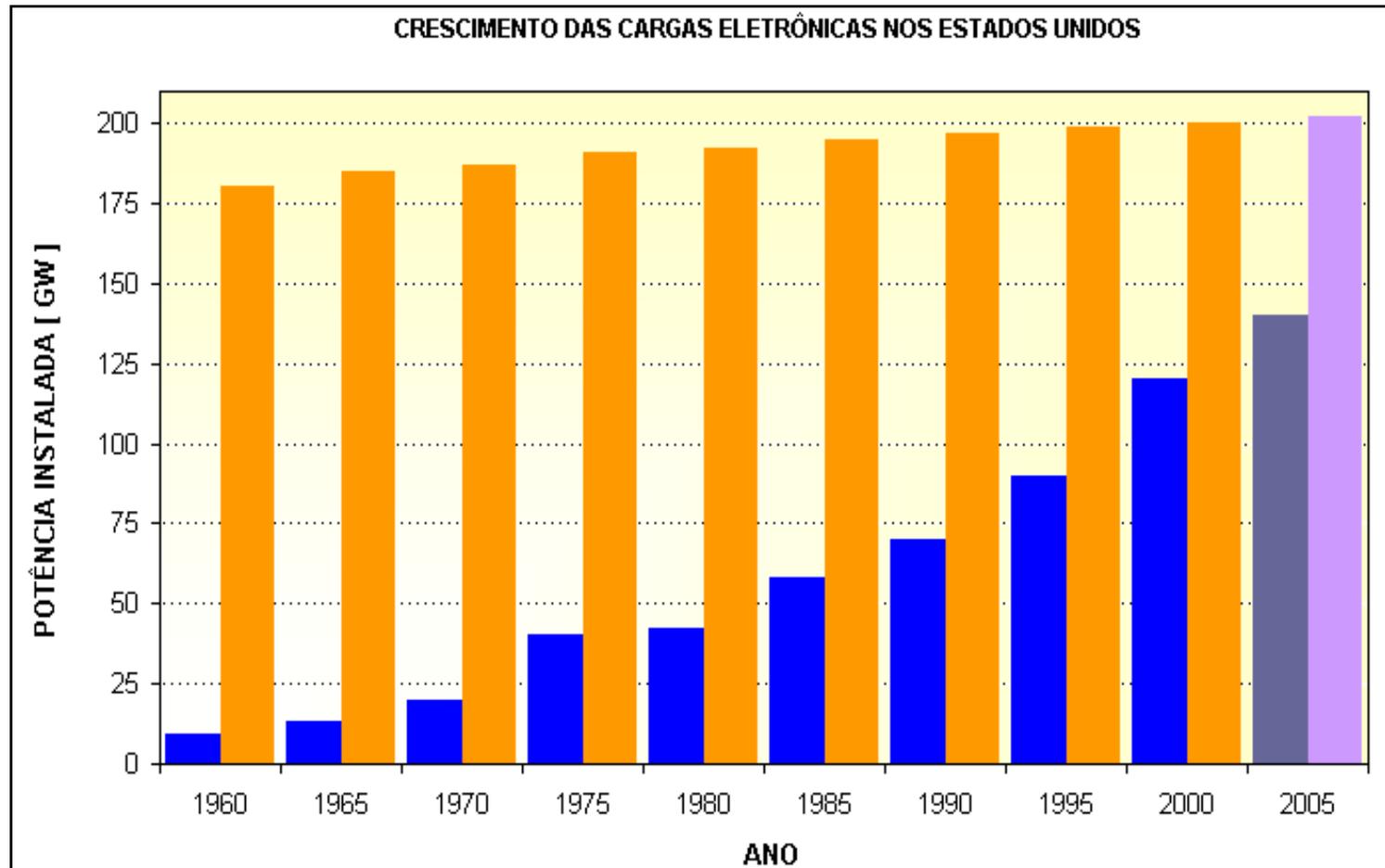
Problemas de Qualidade de Energia

2 - Qualidade de Energia Elétrica – QEE

2.1 - Fenômenos Elétricos:



2.2 – Evolução das Cargas Eletrônicas nos EUA:



Revista BUSINESS WEEK

2.3 – Evolução das Cargas Eletrônicas no Brasil:

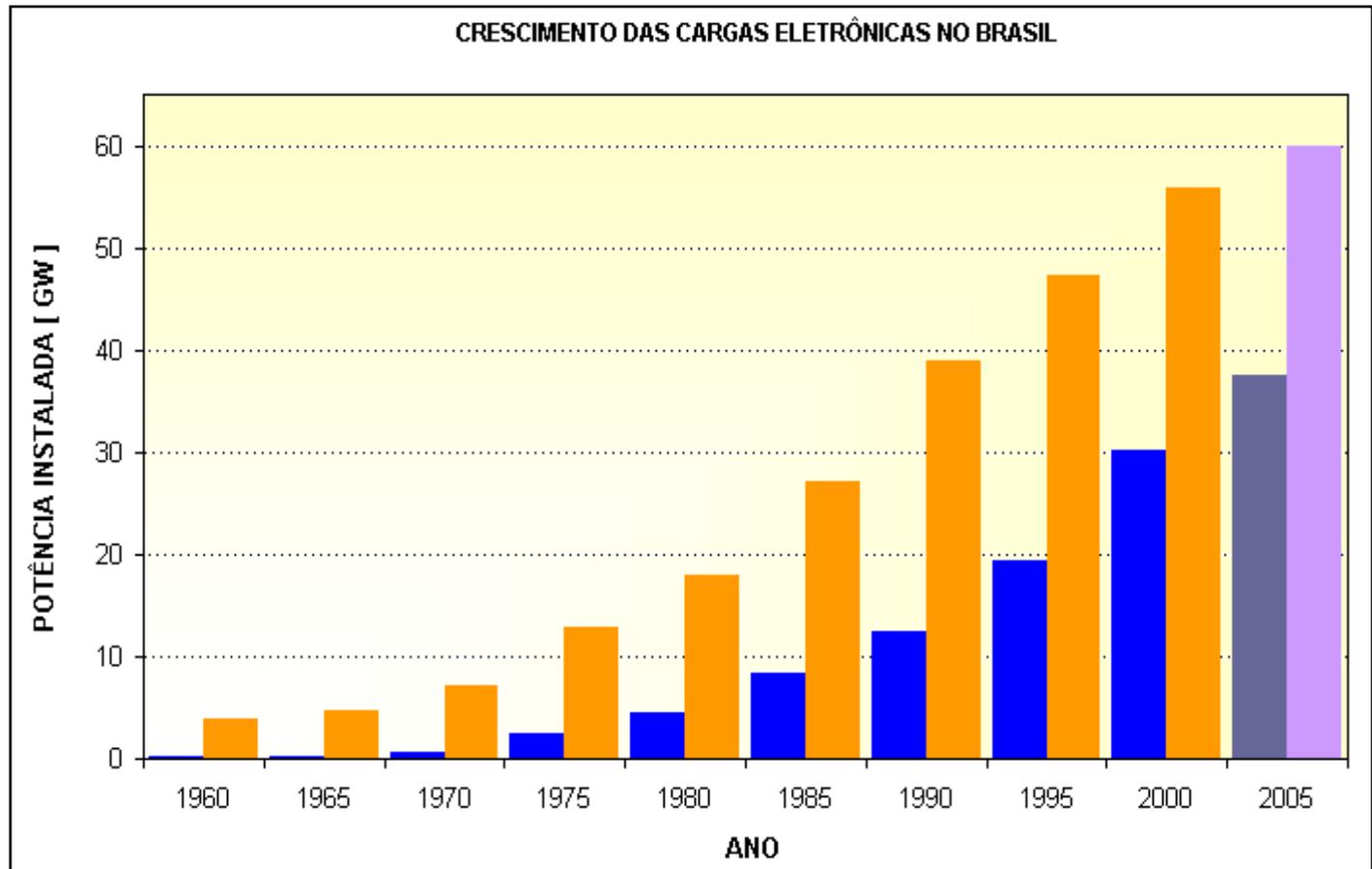


Gráfico estimado a partir de informações da ELETROBRÁS, MME, ABRACE, outros.

2.4 - Custo da QEE por Evento nas Indústrias:



Fonte: EPRI October 29, 1999

2.5 – Custo Total Anual Estimado da QEE:

“Problemas relacionados à Qualidade da Energia Elétrica custam anualmente aos Estados Unidos cerca de **US\$ 100 Bilhões em danos e atitudes preventivas.”**

No Brasil = US\$?????? / Ano => **FT Cigre CE C4.4
(Força Tarefa de Impactos Econômicos da QEE)**



Aumento das Cargas Eletrônicas



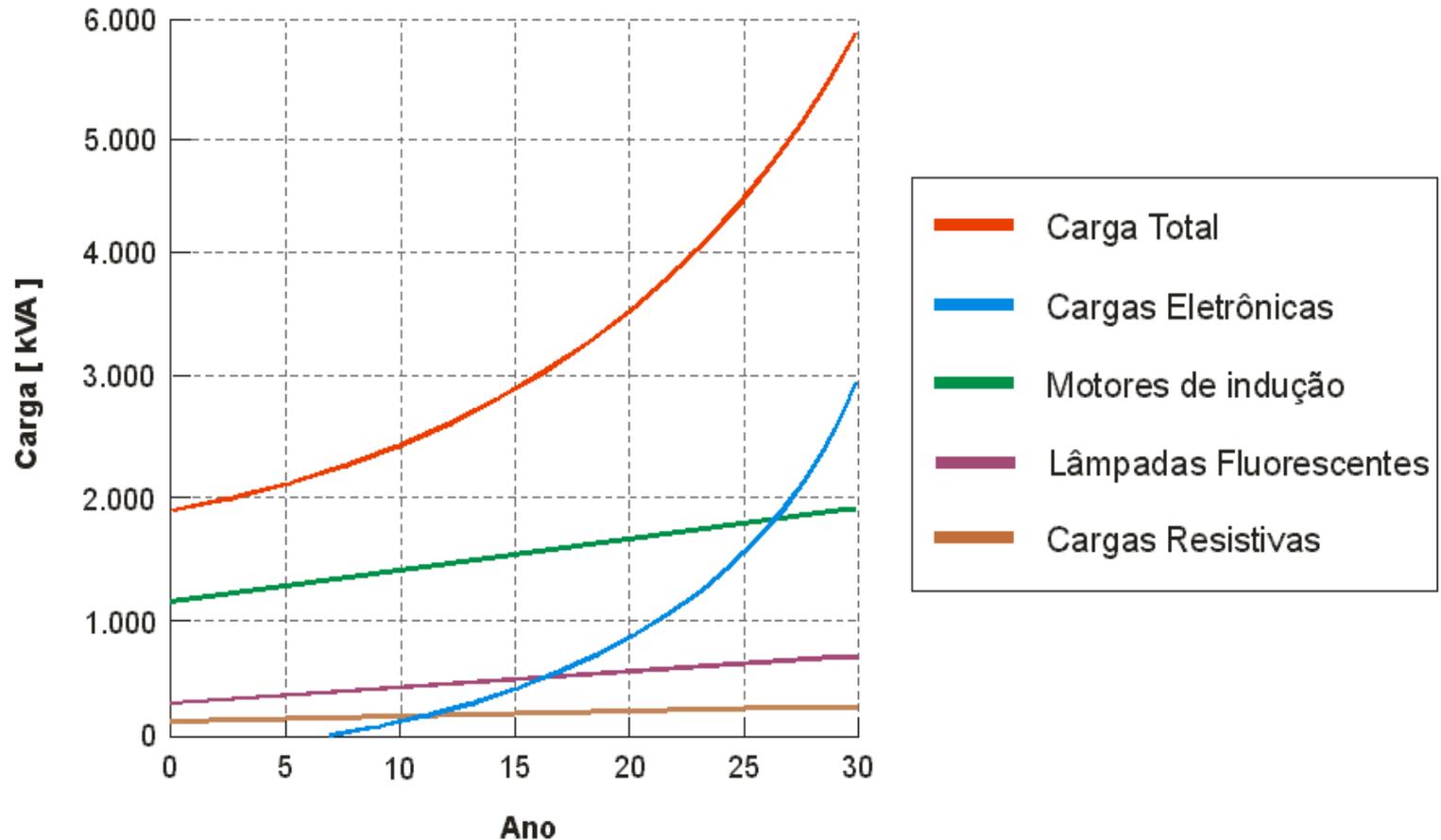
Aumento do Custo da QEE

2.6 – Principais Fenômenos Elétricos da QEE:

- ◆ *Fator de Potência*
- ◆ *Variações da Tensão de Curta Duração (AMTs ou Sags, SMTs ou Swells)*
- ◆ **Harmônicos (foco deste trabalho)**
- ◆ *Efeito Flicker*
- ◆ *Desequilíbrios da tensão*

2.8 - Exemplos de Custos da QEE (Harmônicos):

Perdas devido a harmônicos em sistemas de distribuição



Fonte: **Alexander E. Emanuel**

Trans. on Power Systems. Vol. 06, No. 03, August 1991

3 - Eficiência Energética x Harmônicos:

- Controladores de Velocidade;
- Softstarters;
- Luminárias de Alto Rendimento;
- Lâmpadas e Reatores Eletrônicos;
- Compensação Reativa;
- Geradores de Energia Elétrica;
- Nobreak's.



**Geração ou
Amplificação de
Harmônicos**

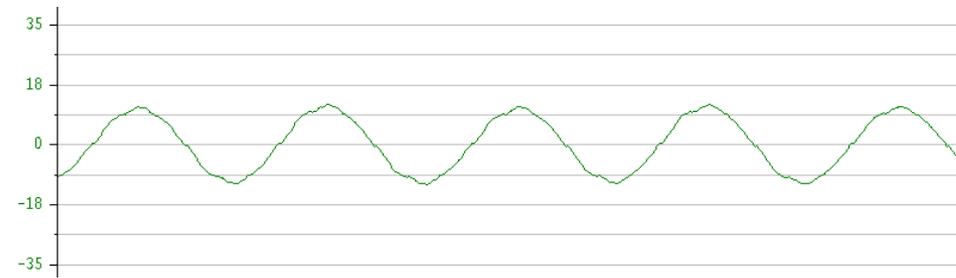
3.2 - Harmônicas Geradas por Soft-Starters:



Forma de onda da corrente de alimentação **0,5 seg** após a partida



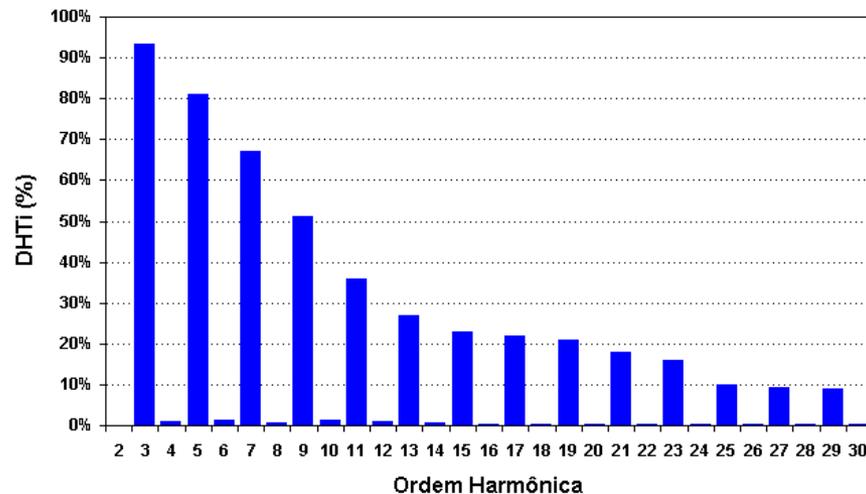
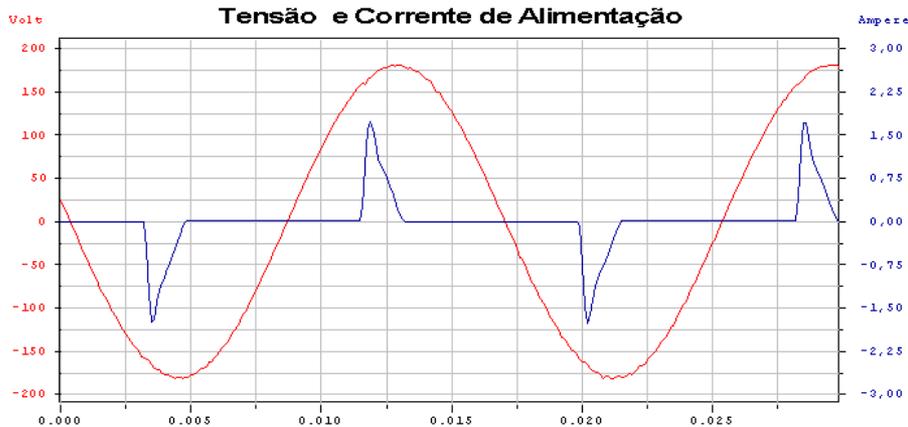
Forma de onda da corrente de alimentação **1,5 seg** após a partida



Forma de onda da corrente de alimentação **em regime**



3.3 - Harmônicas por Lâmpadas Fluorescentes Compactas – LFC's:



Tensão RMS = **128 Volts**
 Corrente RMS = **0,42 Amperes**
 Potência Ativa = **27 Watts**
 Potência Reativa = **46,3 VAR**

DHTi (%) = **165,75 %**
 DHTv (%) = **0,69 %**

3.4 – Efeitos dos Harmônicos nos Equipamentos Elétricos:

- Má operação de Equipamentos:

- Ex.: Relés (Atuação Indevida)
Medidores (A/D do Disco)
Falha de operação nos controles eletrônicos

- Sobretensão Harmônica:

- Danos à Isolação Elétrica e queima de equipamentos elétricos.

- Sobrecorrente

- Aumento da temperatura de operação (Efeito Joule) e perda de vida útil de equipamentos elétricos.

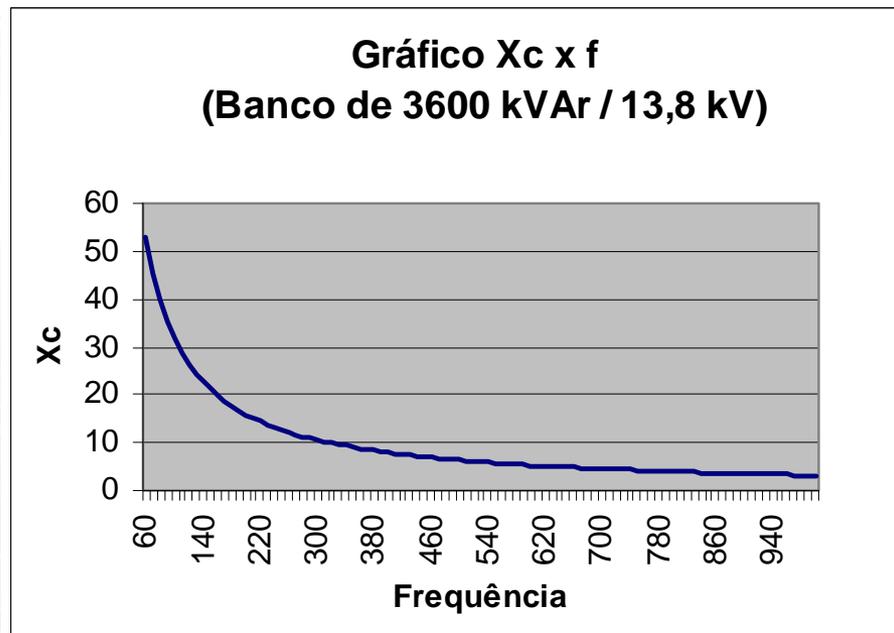
- Interferências em Sistemas de Comunicação

- Ex.: Sistema Carrier em LT's

- Ressonâncias Paralelas

3.4.1 – Efeitos dos Harmônicos em Capacitores:

3.4.1.1 - Variação da Reatância com a Frequência:



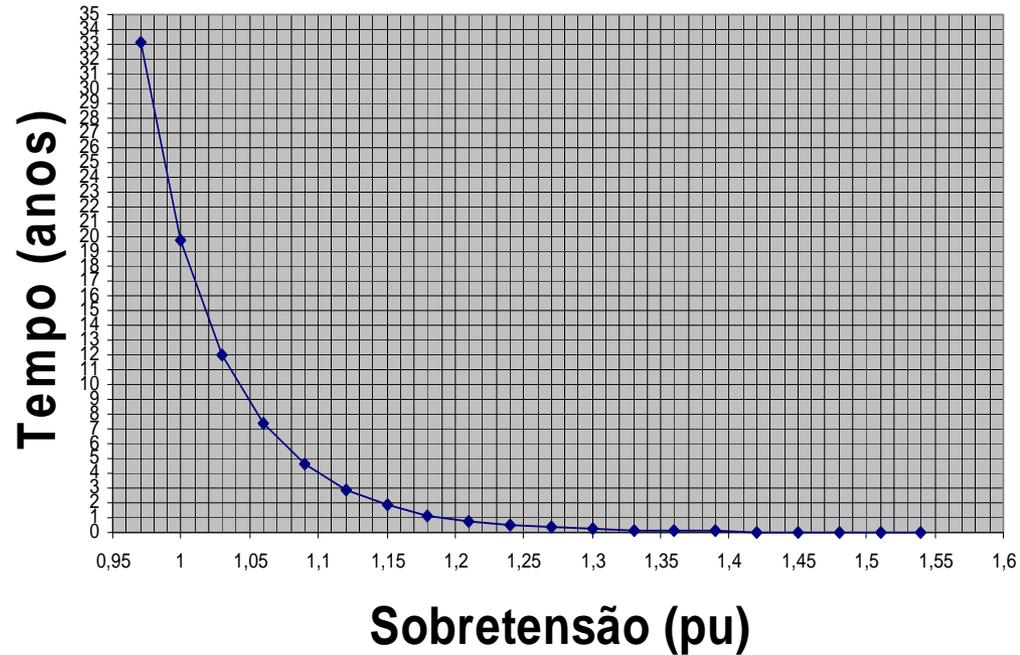
$$X_c = \frac{1}{\omega.C} = \frac{1}{2.\pi.f.C}$$



$$\downarrow X_c = \uparrow f$$

3.4.1.2 – Perda de Vida Útil em Bancos de Capacitores por Sobretensão:

Expectativa de vida - Capacitores



3.4.2 - Ressonância Paralela:

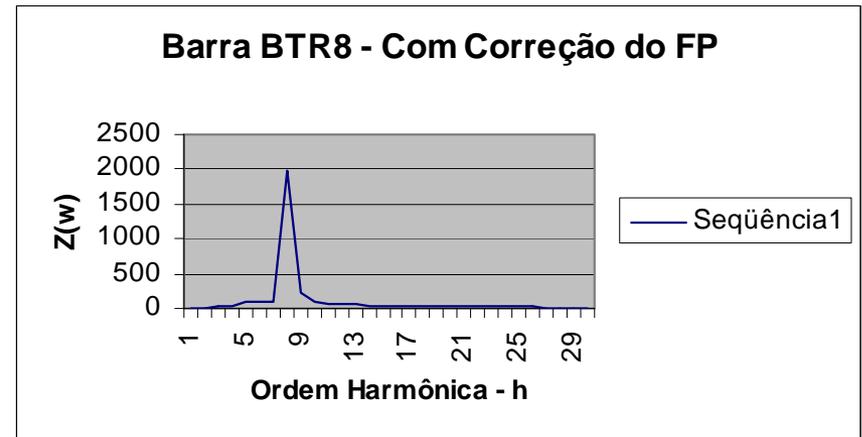
$$f_s \Rightarrow X_L = X_C$$



$$Z = \frac{X_L \times X_C}{X_L - X_C} \rightarrow \infty$$

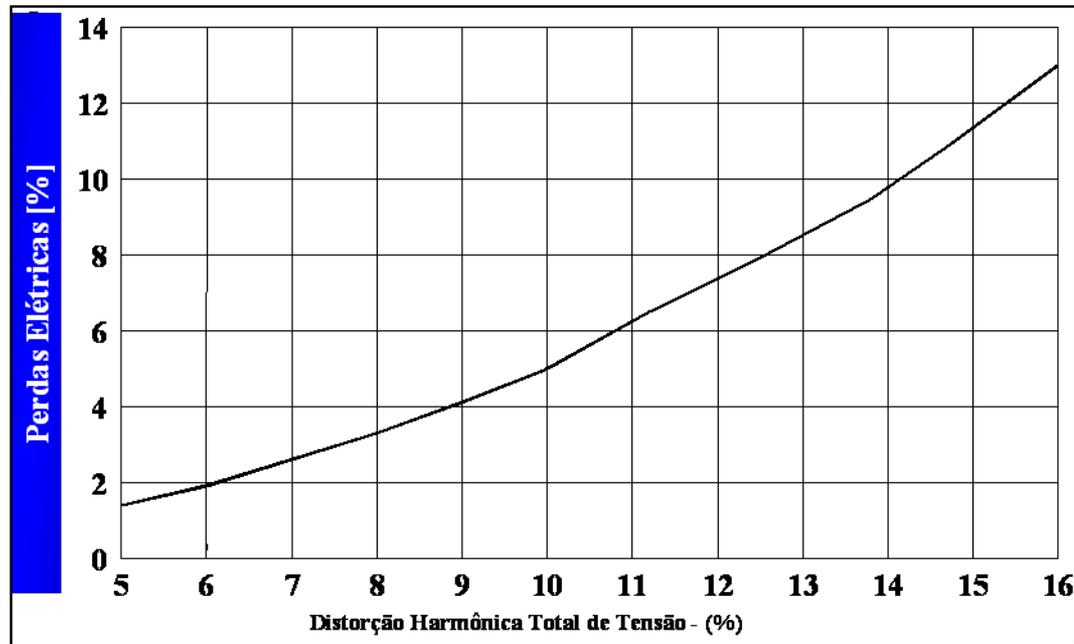


Sobretensão dv/dt
Sobrecorrente di/dt



3.4.3 - Efeitos de Harmônicos em Motores de Indução:

-As perdas dentro de um motor de indução são compostas pelas perdas por Histerese e Foucault e também de perdas Joule .

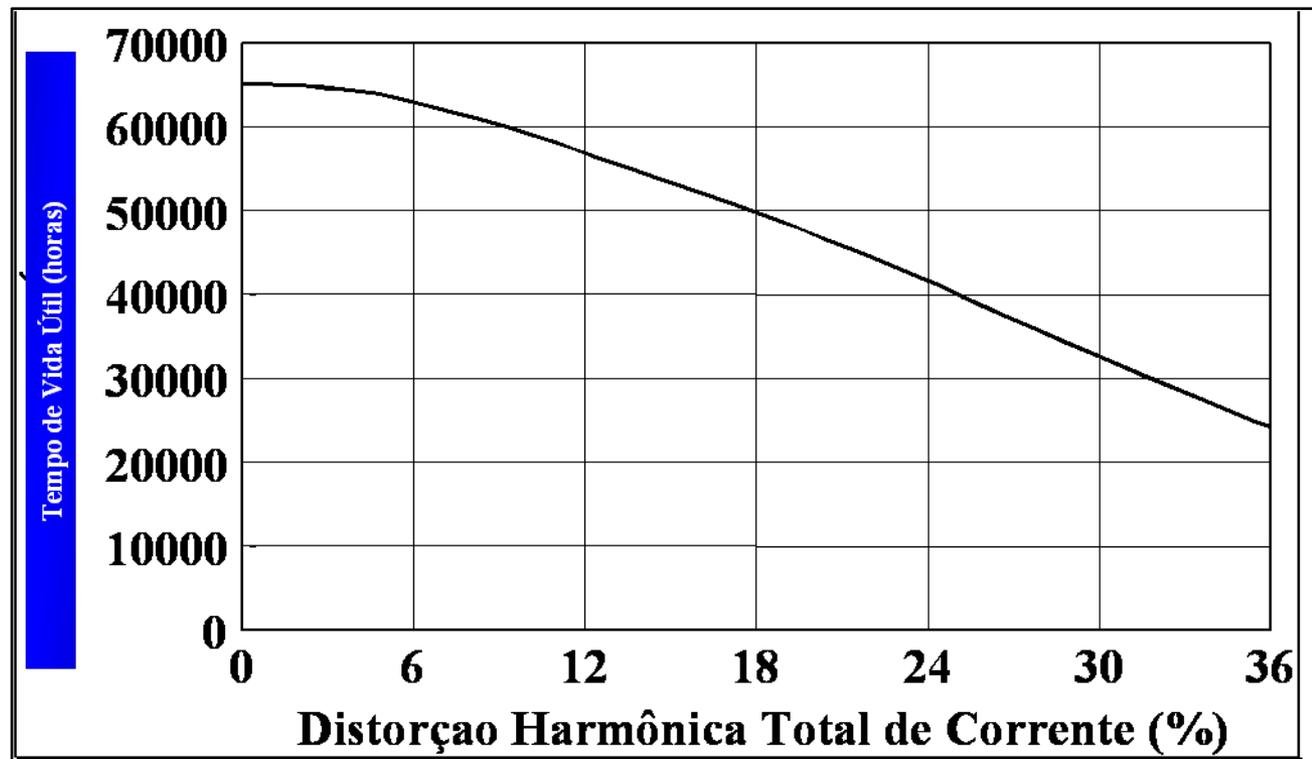


**Perdas no Ferro
são pouco
influenciadas**

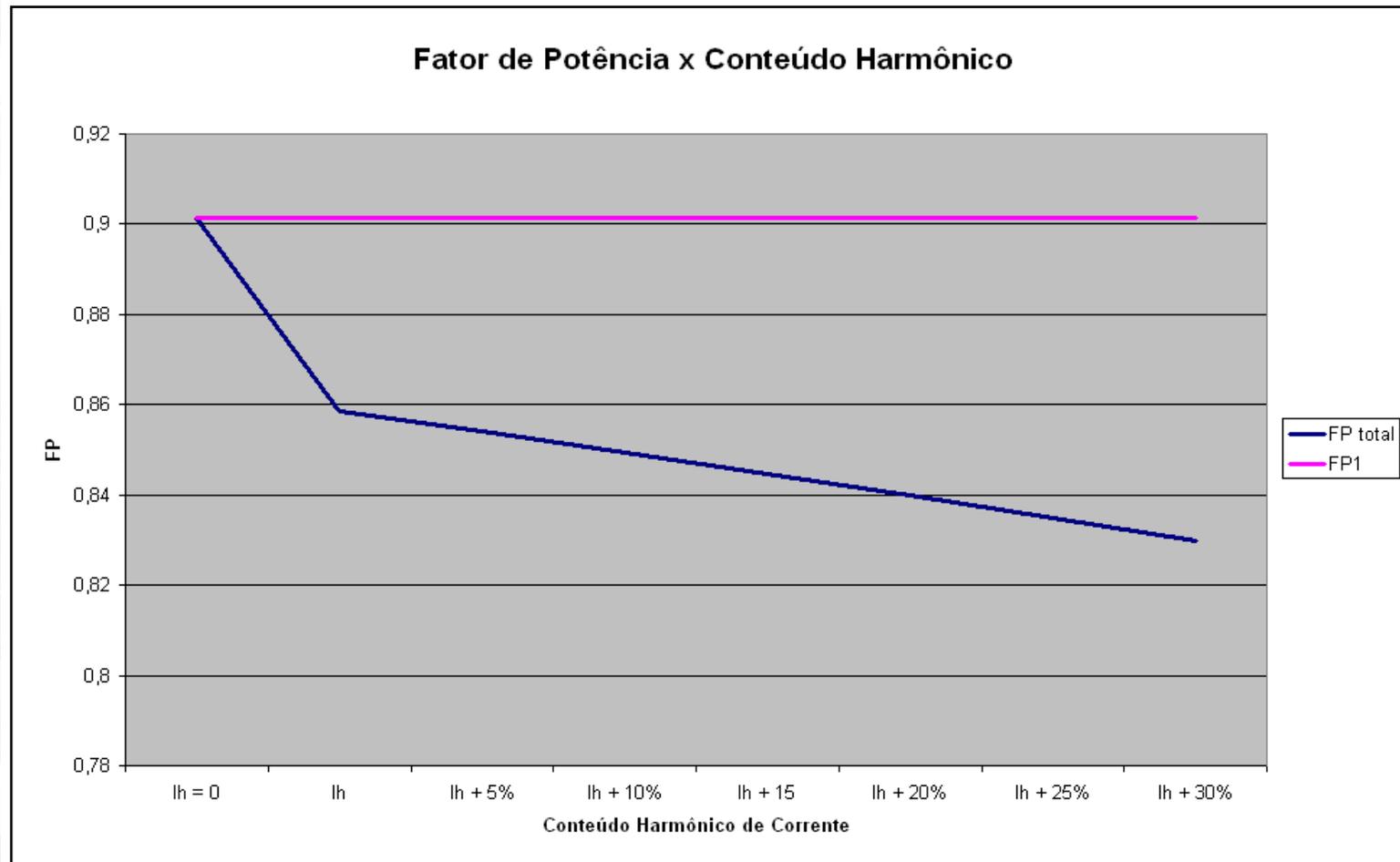
**Perdas Joule
são consideráveis
devido à variações
na resistência e
aumento da
Corrente Eficaz**

3.4.4 - Efeitos dos Harmônicos em Transformadores:

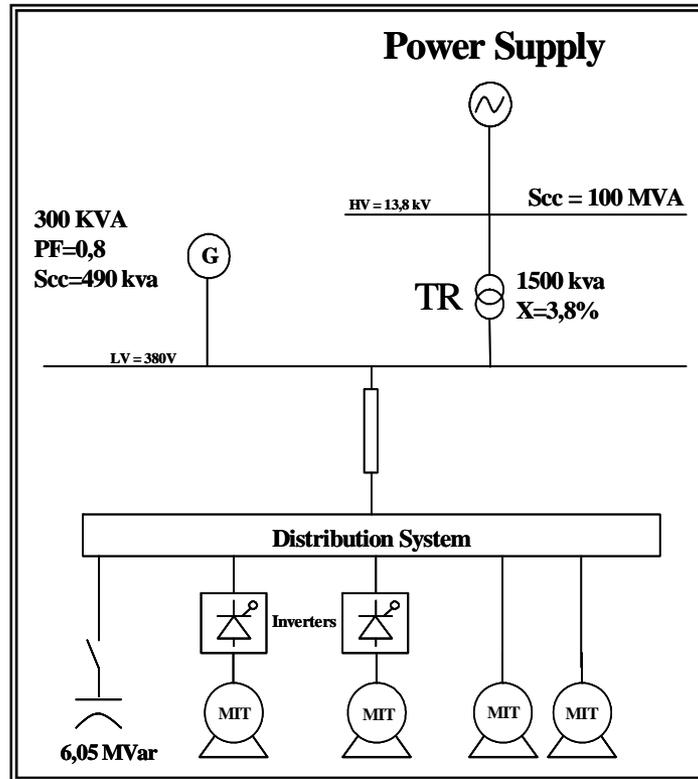
Redução da vida útil de transformadores submetidos à distorção harmônica



3.4.5 - Efeitos dos Harmônicos no FP das Instalações (continuação):



3.4.6 - Efeitos dos Harmônicos sobre a Geração Própria:



Geração Própria instalada para o fornecimento de energia no horário de ponta. Sistema Elétrico de uma impressora de jornal.



Explosão do banco de capacitores instalado para correção do FP.



180 kvar

4 - Solução para os Problemas de Harmônicos:

4.1 – Dimensionamento de capacitores - harmônicos:

Dimensionamento Recomendado (até os limites técnicos):

a) Tensão: Subtensionar o Banco de Capacitores => $Q \sim V^2$

b) Corrente: Corrente nominal = Soma Quadrática => Efeito Joule

Obs: Exceto quando da ocorrência de ressonâncias harmônicas em frequências existentes no sistema elétrico em estudo.

4.2 – Evitar a ocorrência de ressonâncias harmônicas:

- Mudança da Frequência de Ressonância;
- Instalação de um Indutor em Série com o Capacitor;
- Porém não elimina os harmônicos existentes.

**Filtros de
Dessintonia**

4.3 – Necessidade de filtragem das harmônicas para redução dos níveis de distorção existentes:

- Instalação de filtros de harmônicos passivos ou ativos, sintonizados e/ou amortecidos, de preferência próximos às principais cargas geradoras de harmônicos.

- Elimina os principais harmônicos existentes.

Tipos: Filtros Ativos (várias Frequências)

Filtros Sintonizados (uma frequência)

Filtros Amortecidos:

- 2a Ordem

- 3a Ordem

- Modificado

- Tipo “C”

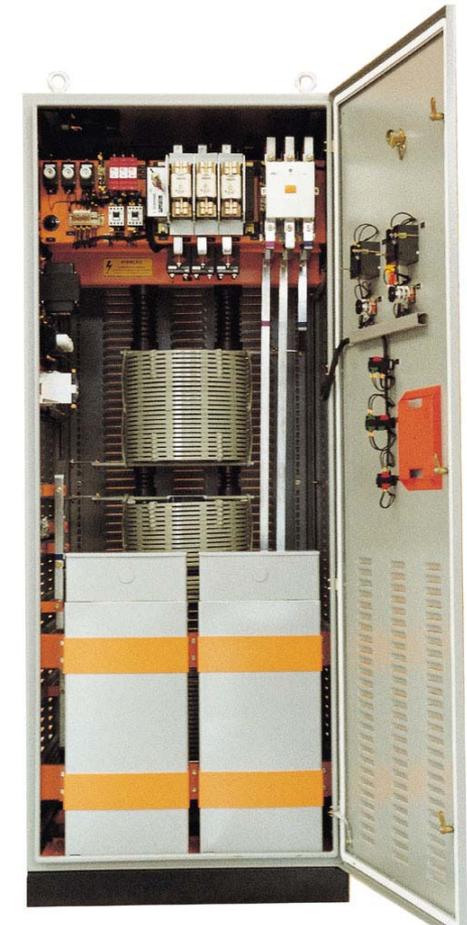
4.3.1 – Filtros Passivos Dessintonizados:

- Capacitores tipo PPM (até 15% de DHTi%)
- Reatores a núcleo de ferro.

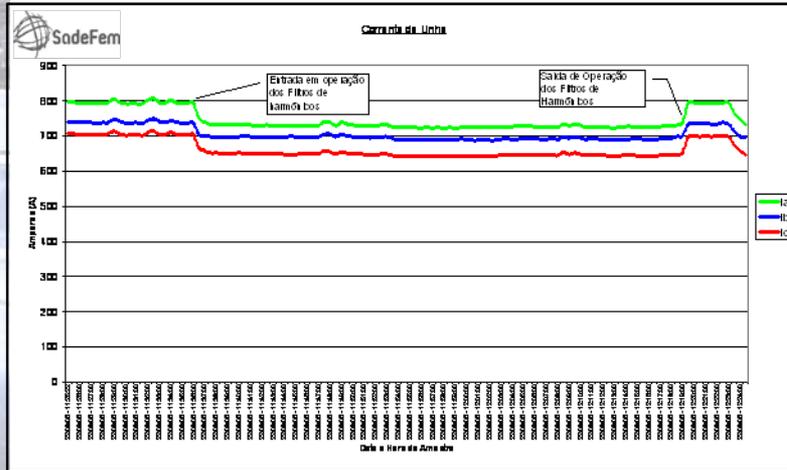


4.3.2 – Filtros Passivos Sintonizados:

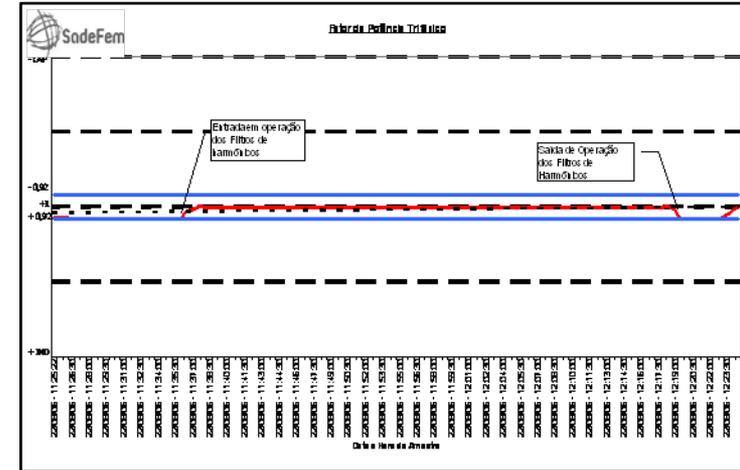
- Capacitores tipo Impregnado a Óleo (até 150% DHTi%);
- Reatores a núcleo de ar.



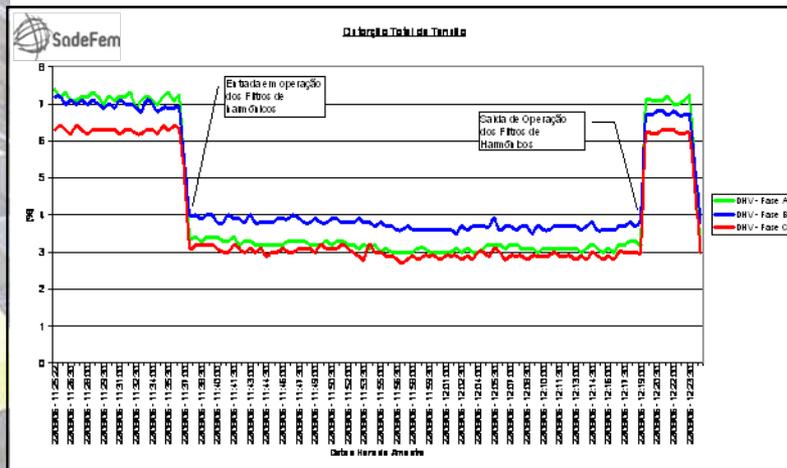
4.3.2.1 – Filtros Passivos Sintonizados (Resultados no 2ario do Transformador):



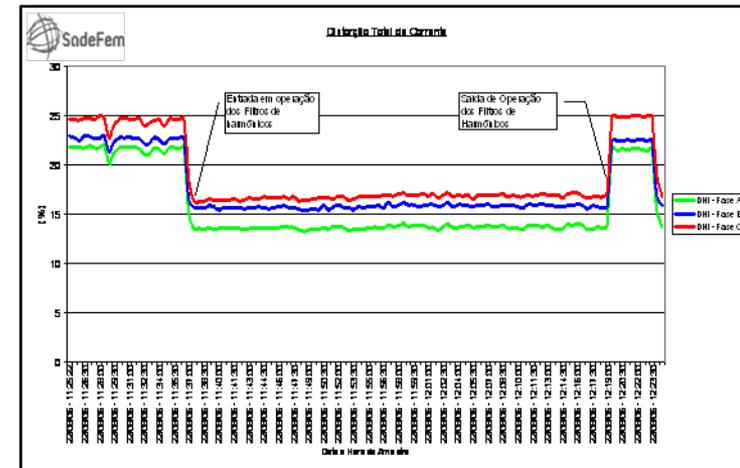
Corrente no 2ario do Trafo em Amperes



Fator de Potência no 2ario do Trafo



DHTv(%) no 2ario do Trafo



DHTi(%) no 2ario do Trafo

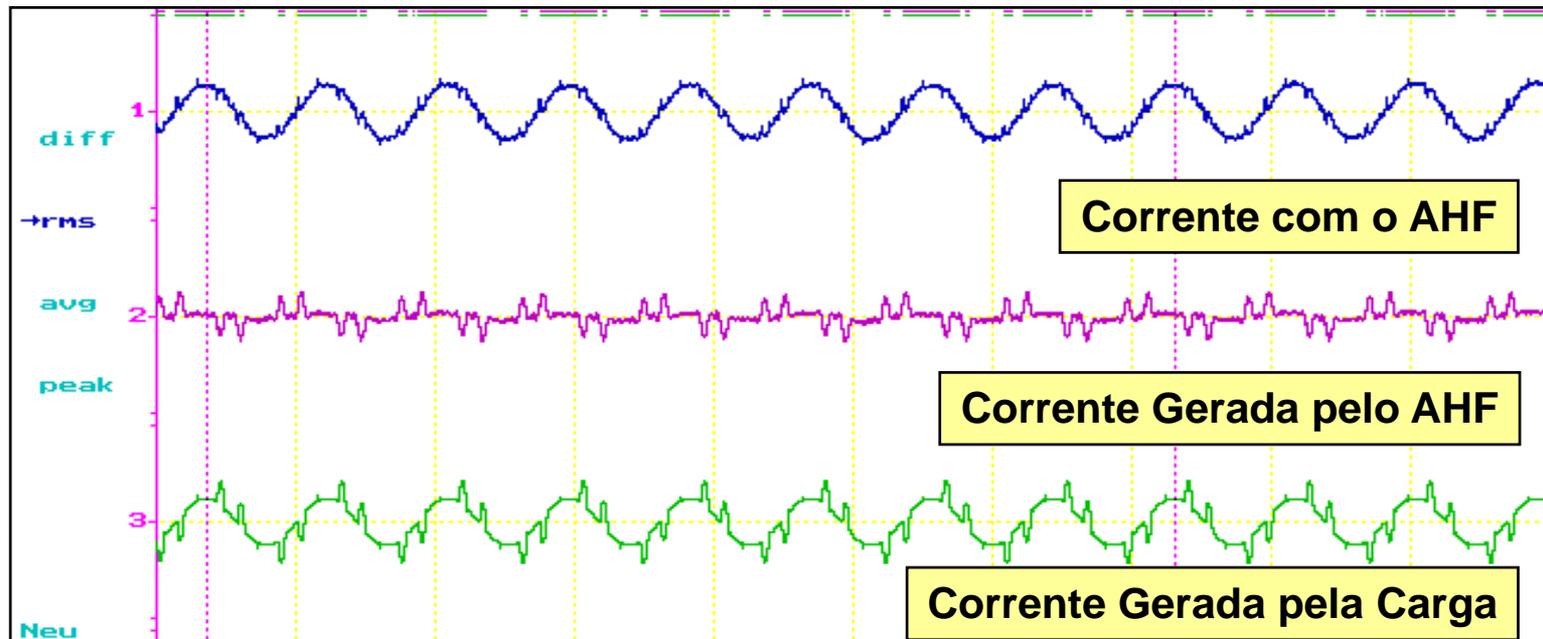
4.3.3 – Filtros Ativos:

→ Sem Capacitores e sem reatores. Não corrige o FP.



4.3.3.1 – Filtros Ativos:

a) Princípio da filtragem ativa:



F I M

**Agradecemos a todos a participação !
Estamos a disposição para esclarecimentos
através do telefone e e-mail abaixo:**

**Eng. Flávio Resende Garcia – Consultor Técnico
++55 16 2109-2925 – flavio.garcia@sadefem.com.br**

**Isaltino Delfino da Silva Junior –
++55 19 3837-7111 – engenharia@indelt.com.br**

**GT de Capacitores Industriais da ABINEE
(ABB, EPCOS, INDELT, LORENZETTI,
SADEFEM, SIEMENS, SCHNEIDER e WEG)**