Leonardo ENERGY em português

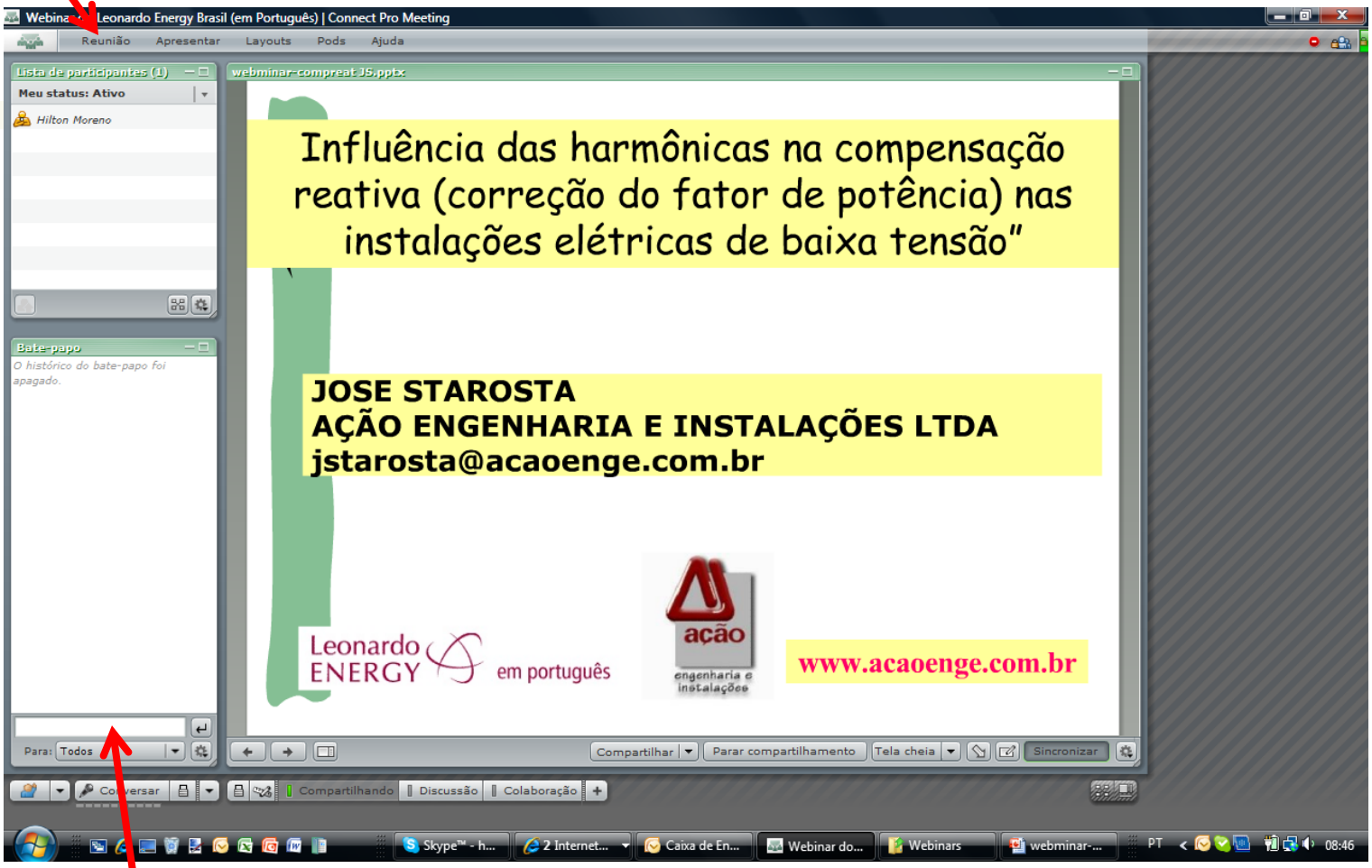
O PORTAL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

BEM-VINDO AO WEBINAR

“Influência das harmônicas na compensação reativa (correção do fator de potência) nas instalações elétricas de baixa tensão”

por: José Starosta

Teste de som: Reunião ➔ Gerenciar minhas configurações ➔ Assistente de configuração de áudio



Área para digitar questões e comentários - respostas no final da apresentação

Leonardo ENERGY em português

PALESTRANTE: Eng. José Starosta

- Especialista em Qualidade de Energia
- Presidente da ABESCO - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
- Diretor da Ação Engenharia.

MEDIADOR: Eng. Hilton Moreno
Consultor do Leonardo Energy Brasil

"Influência das harmônicas na compensação reativa (correção do fator de potência) nas instalações elétricas de baixa tensão"

JOSE STAROSTA
AÇÃO ENGENHARIA E INSTALAÇÕES LTDA
jstarosta@acaoenge.com.br

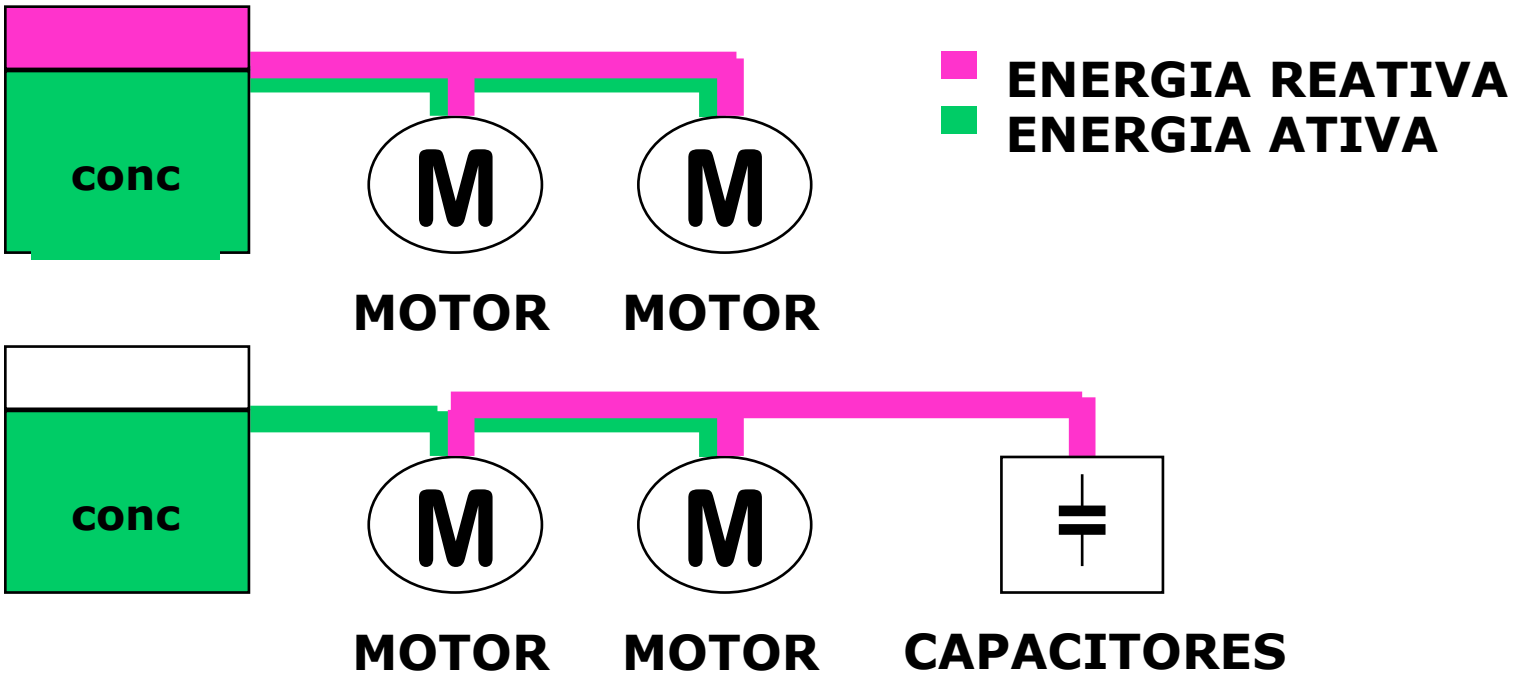
Leonardo ENERGY em português

ação engenharia e instalações

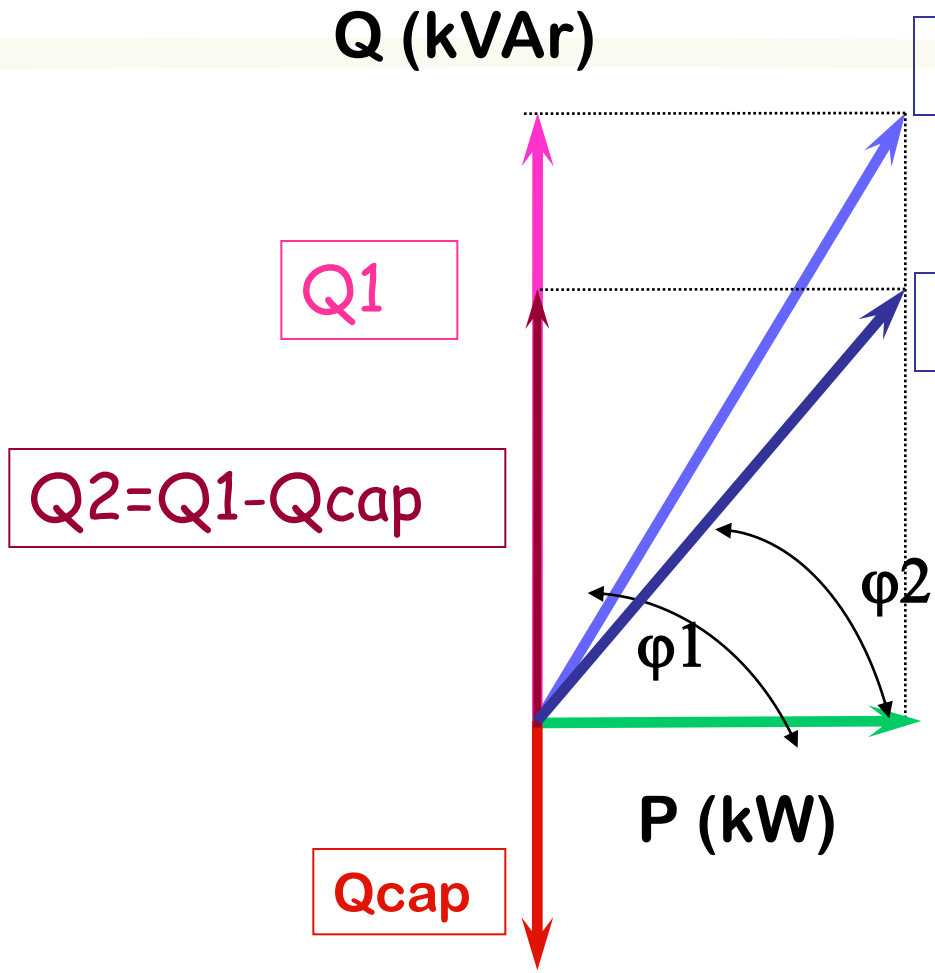
www.acaoenge.com.br

Por que compensar os reativos ???

- Regulação de tensão/Qualidade de energia
- Tarifação de reativos
- Uso racional de energia
- Melhora da eficiência dos processos



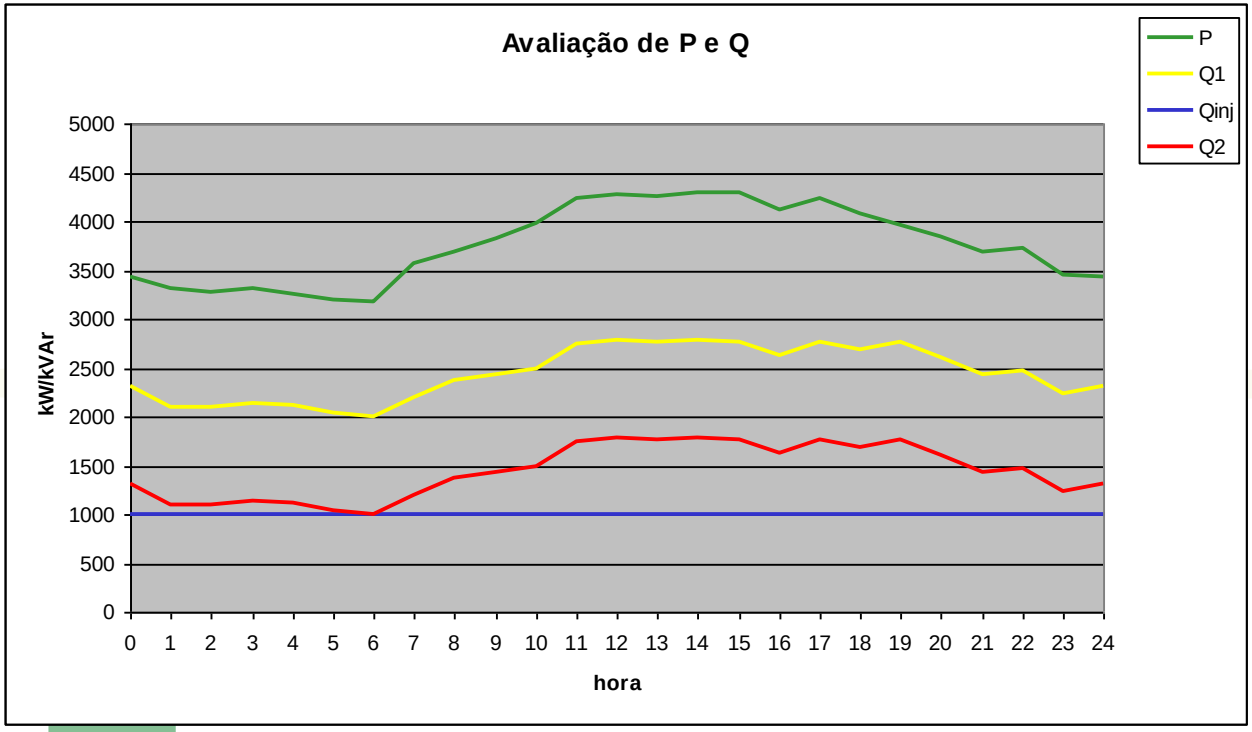
A injeção de reativos e o FP

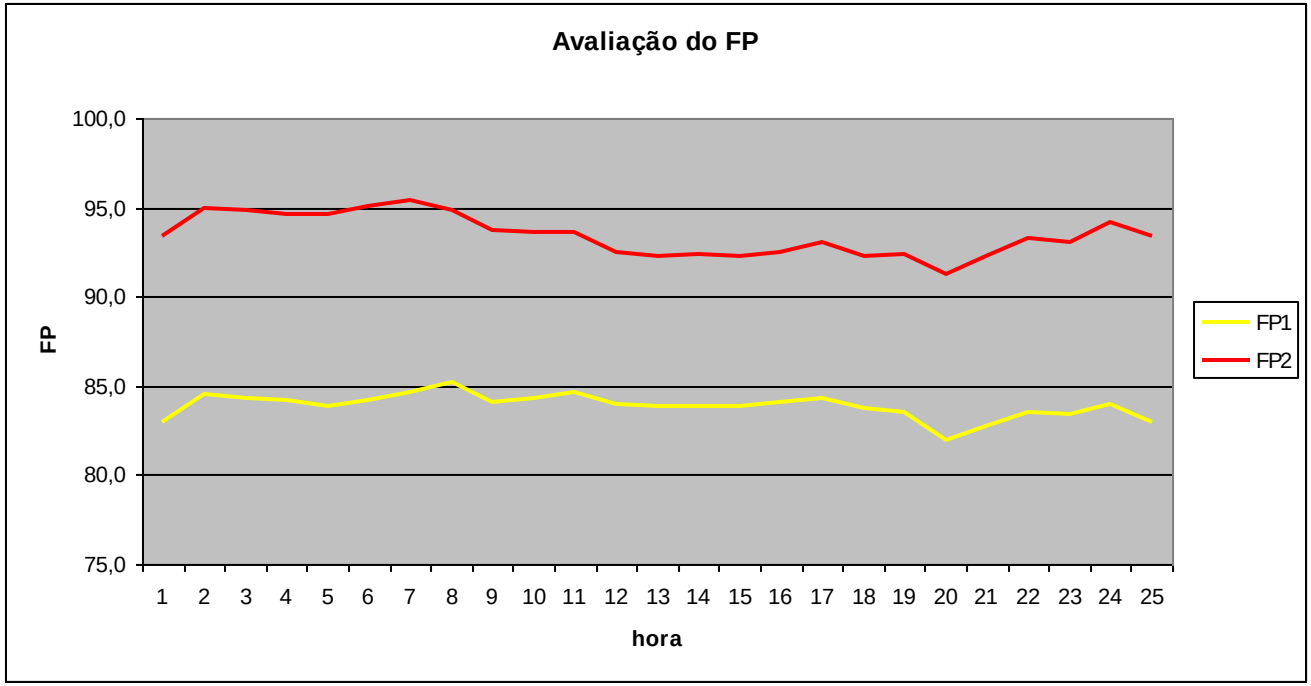


Como compensar os reativos

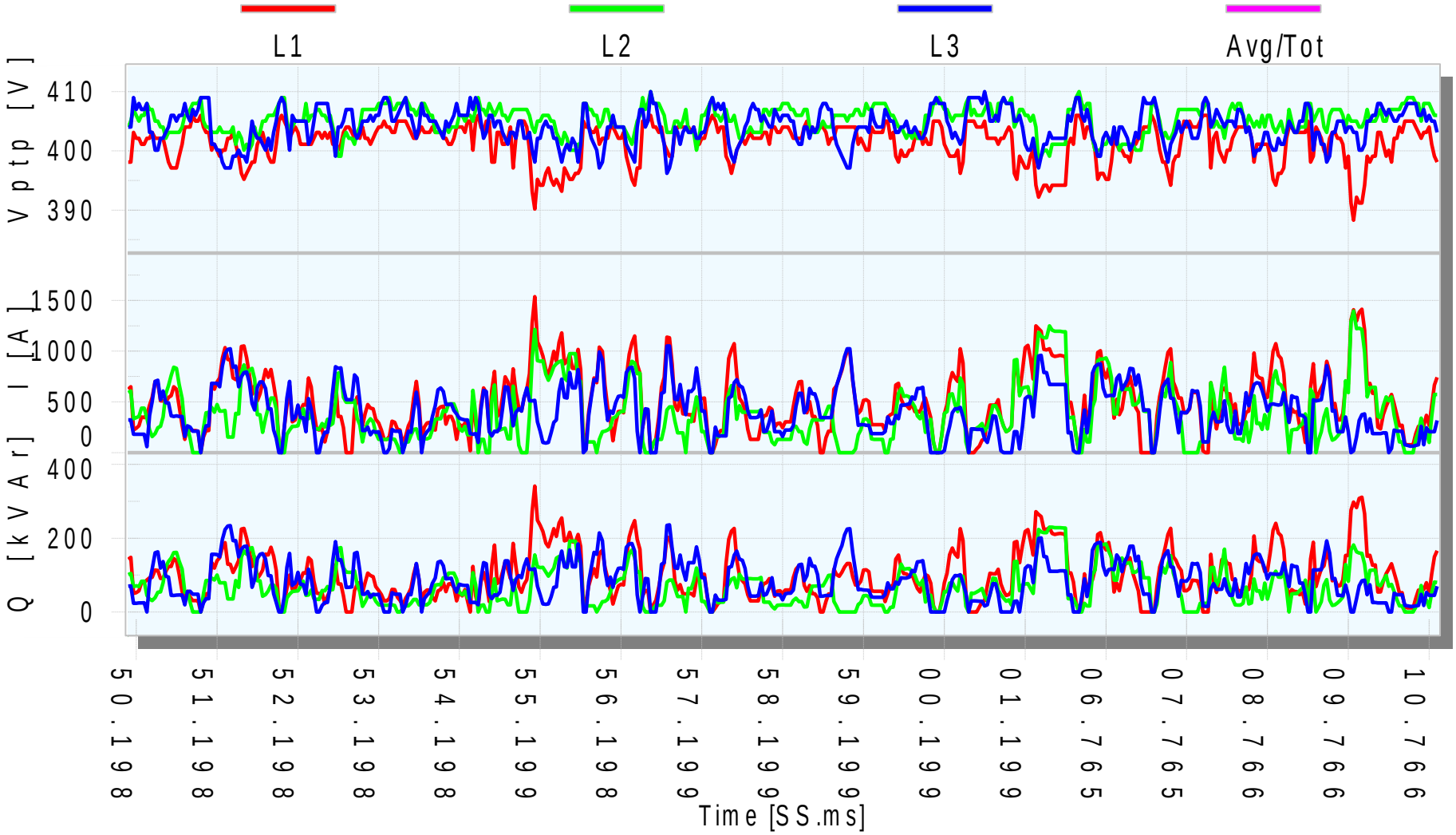
- Instalar capacitores
(via de regra)

- MAS COMO INSTALAR???

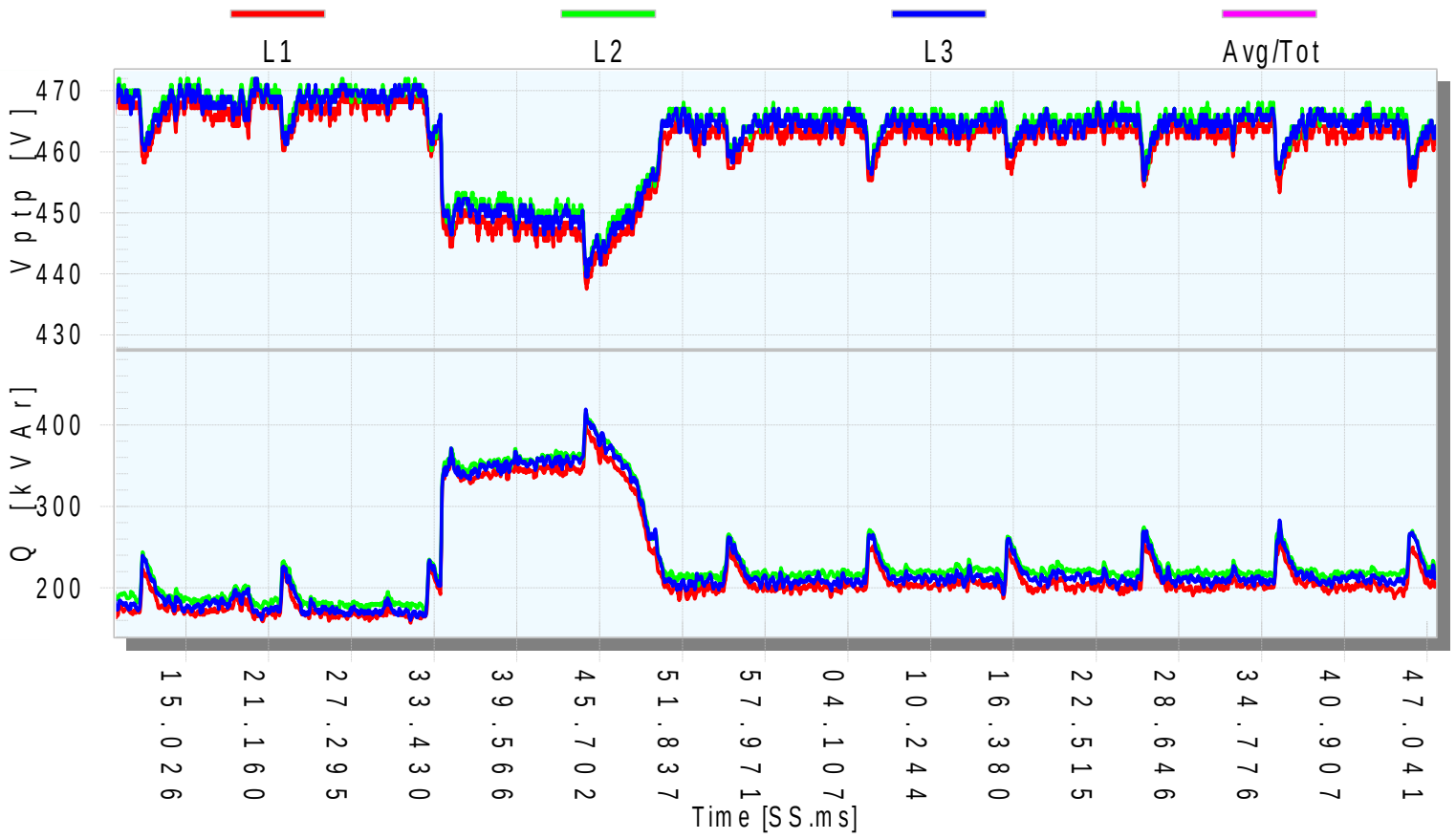

Avaliação de P e Q
P
Q1
Qinj
Q2
kW/kVAr
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
hora


Avaliação do FP
FP1
FP2
FP
100,0
95,0
90,0
85,0
80,0
75,0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
hora

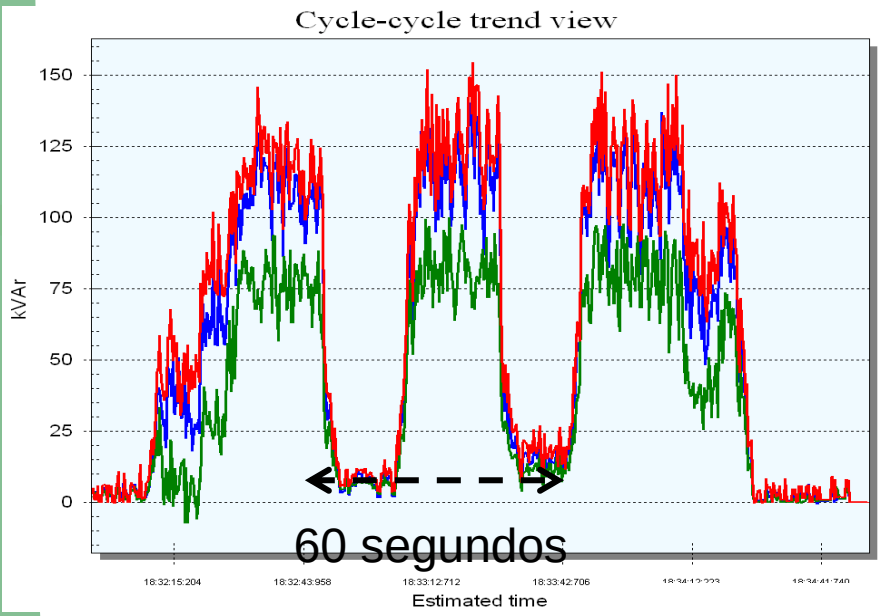
SOLDA A PONTO

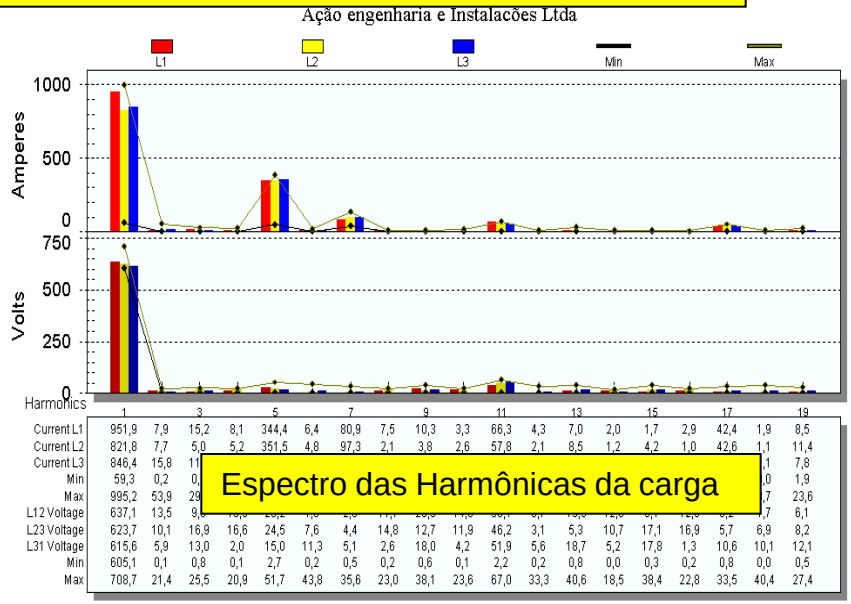


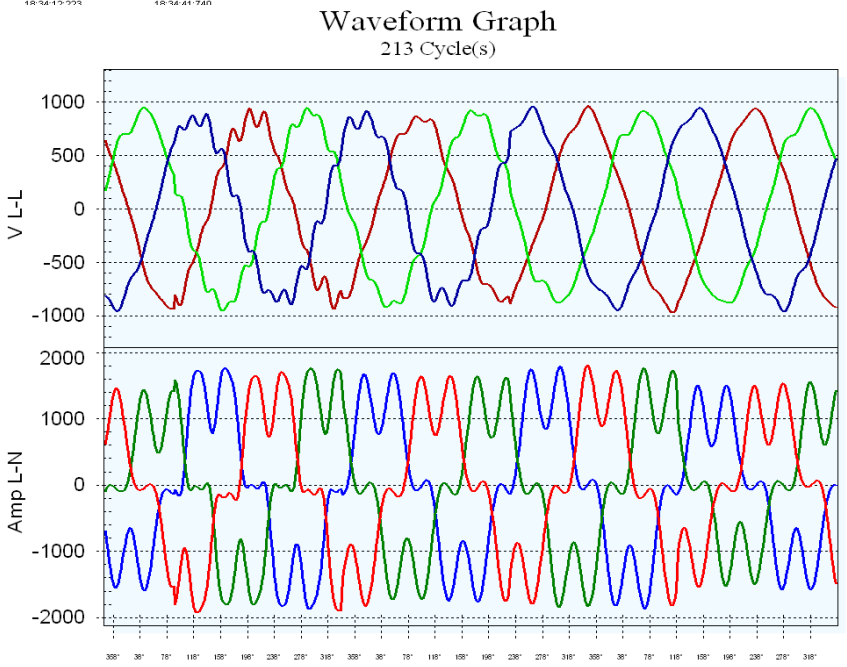
Estamparia -Prensas



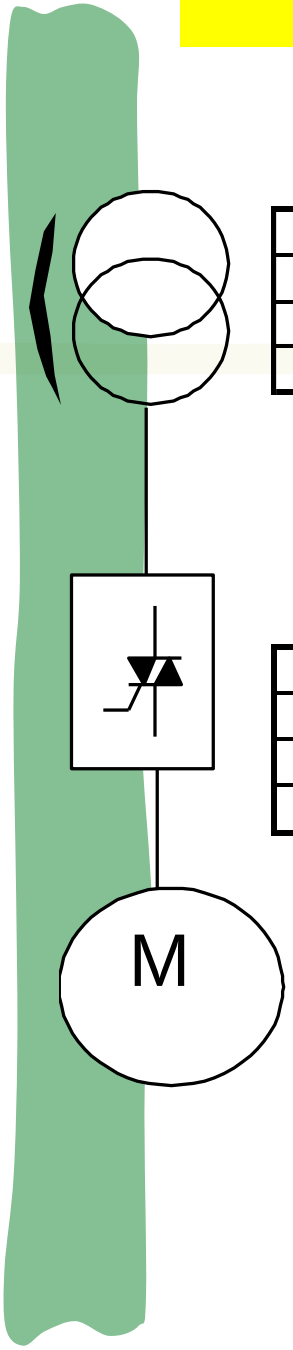
Perfil de carga “nervoso” – energia reativa







Como é o casamento das fontes e das cargas

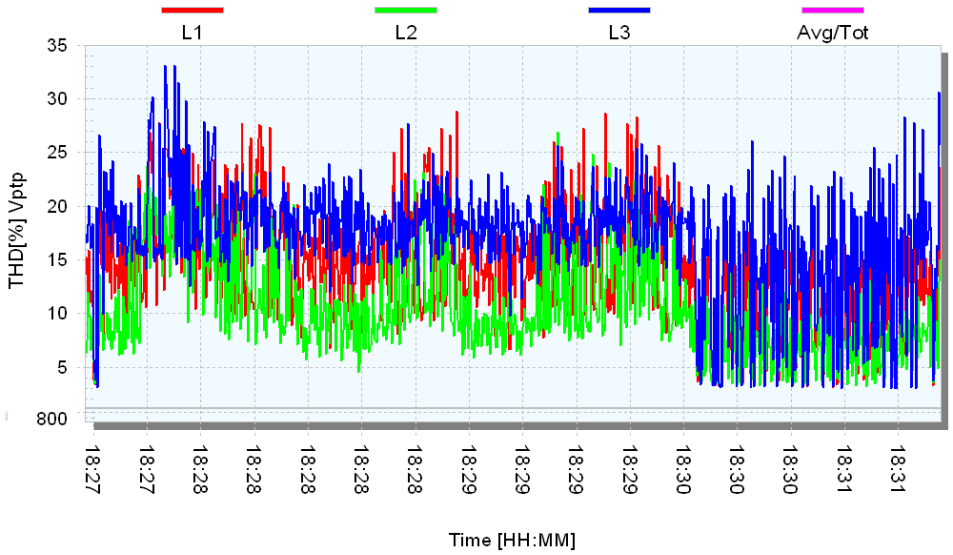


13,2	kV
690	V
1500	kVA
5	%

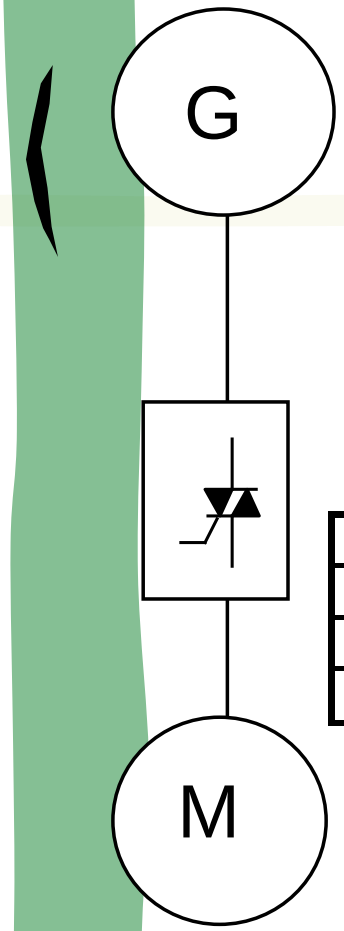
690	V
1200	kVA
1005	Arms
6	pulsos

Ztrafo	0,01587	ohm		
	%	A	Ztrafo	V
rms		1005		
I1	100%	926	0,015870	25,41863
I5	39%	361	0,079350	49,56633
I7	14%	130	0,111090	24,91026
I11	8%	74	0,174570	22,3684
I13	3%	28	0,206310	9,913267
I17	5%	47	1,348950	110,1898
I19	3%	23	2,110710	84,51695

Irms/I	1,085818			
THD		42%		22,0%



MUDANÇA DE FONTE



690	V
1500	kVA
15	%

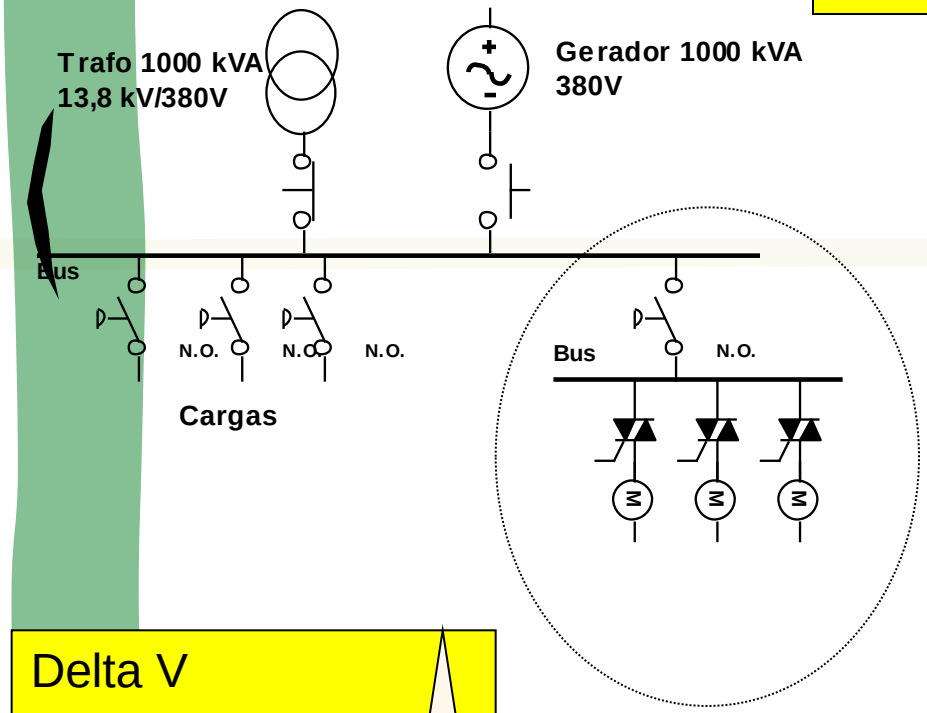
690	V
1200	kVA
1005	Arms
6	pulsos

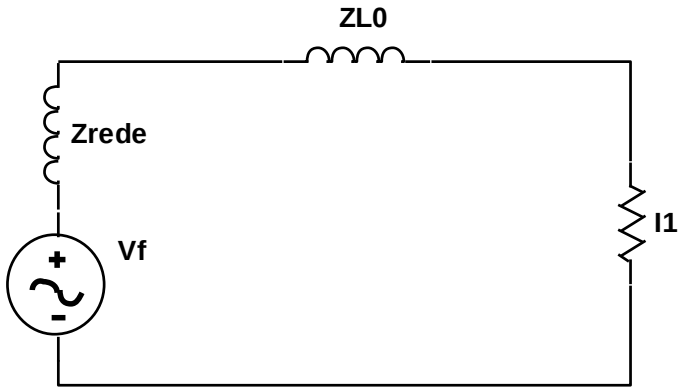
Ztrafo	0,04761	ohm		
	%	A	Ztrafo	V
rms		1005		
I1	100%	926	0,047610	76,2559
I5	39%	361	0,238050	148,699
I7	14%	130	0,333270	74,73078
I11	8%	74	0,523710	67,10519
I13	3%	28	0,618930	29,7398
I17	5%	47	4,046850	330,5693
I19	3%	23	6,332130	253,5509

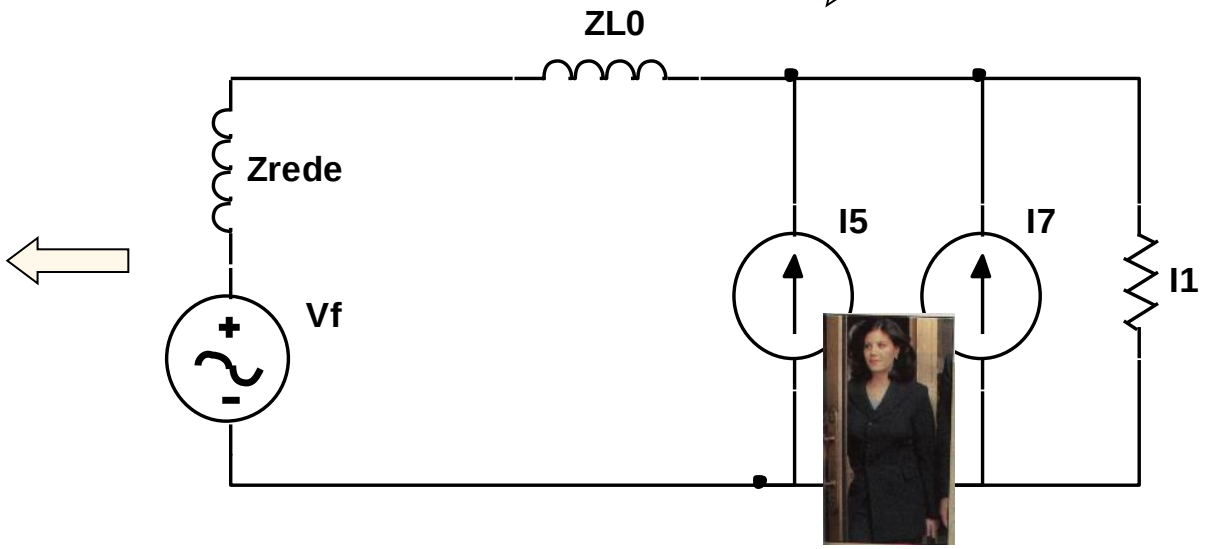
Irms/I	1,085818			
THD		42%		65,9%

!!!!!!!!!!!!!!

Inserção de cargas não lineares-fonte: trafo







Delta V

THDV

THDI

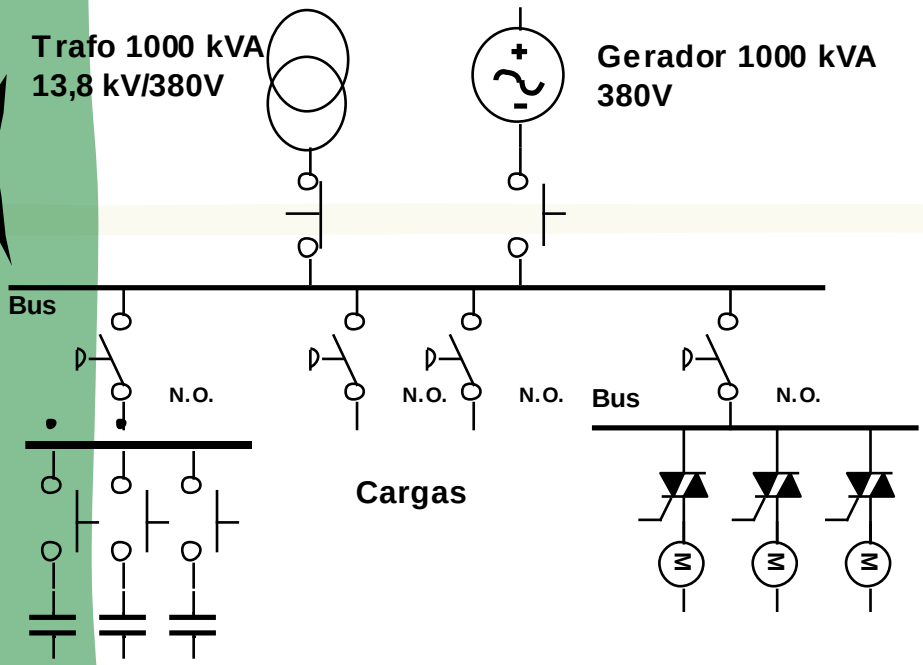
I

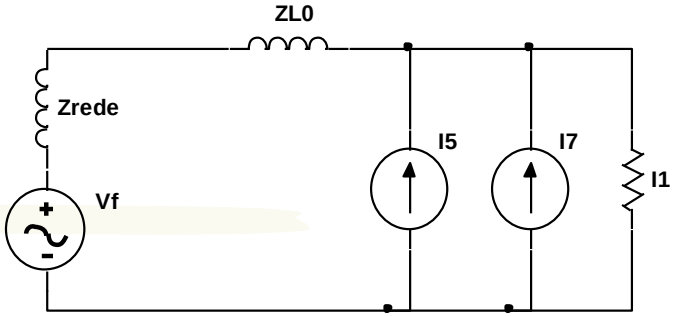
Perdas

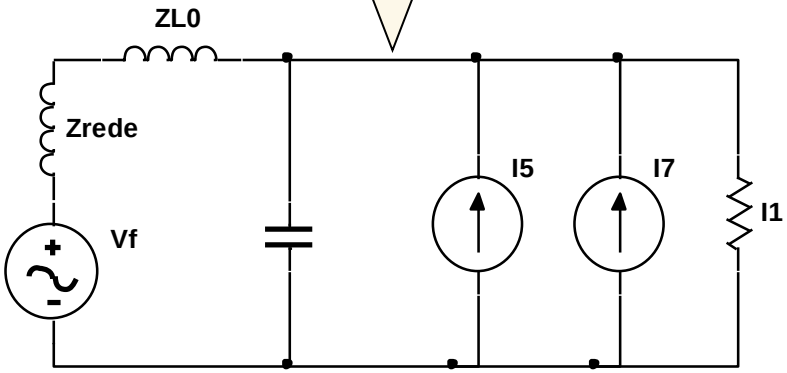
Calor

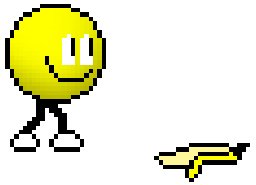
Energia Reativa

Inserção de capacitores

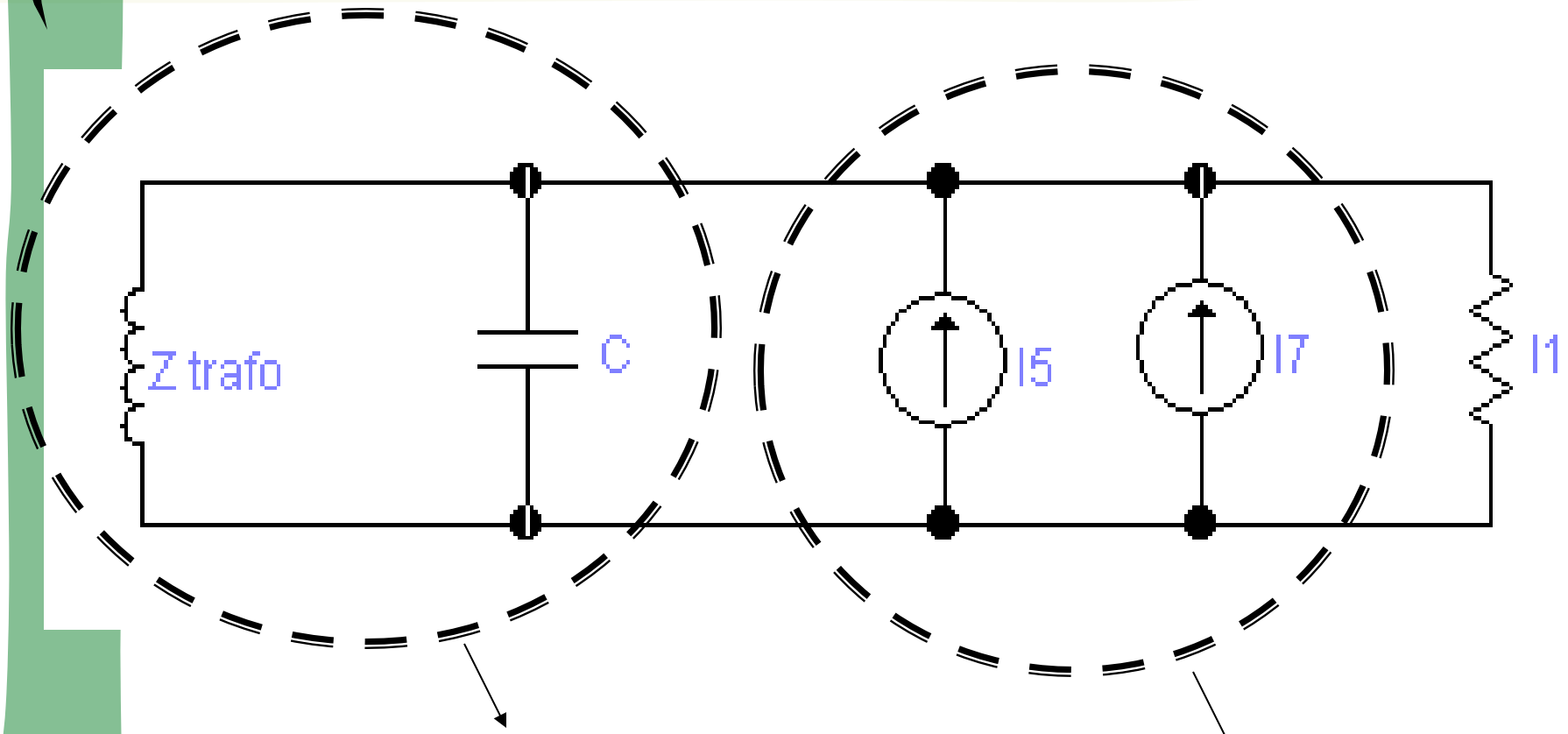








A inserção de capacitores na rede e as harmônicas



$f_{ressonância} = f(L,C)$

Harmônicas presentes

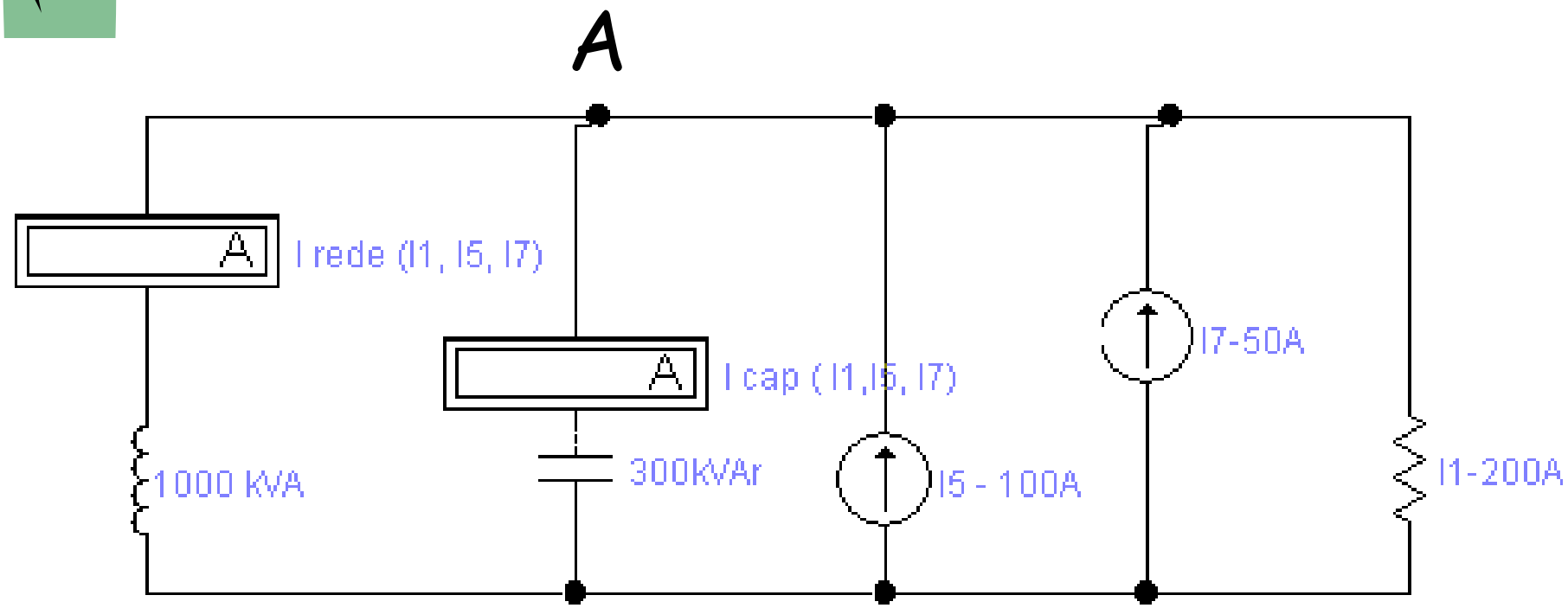
Combinação fatal

- A combinação L(rêde) / C(kVAr) em um sistema elétrico define uma freqüência de ressonância.

- A presença de cargas nesta rede, com espectro de corrente (harmônica) nesta (ou próxima) a esta freqüência causará penetração de corrente no capacitor com queima posterior; ressonância.

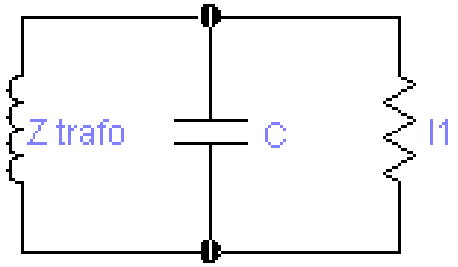
$$hr = \sqrt{kVAcc / kVAr\ cap}$$

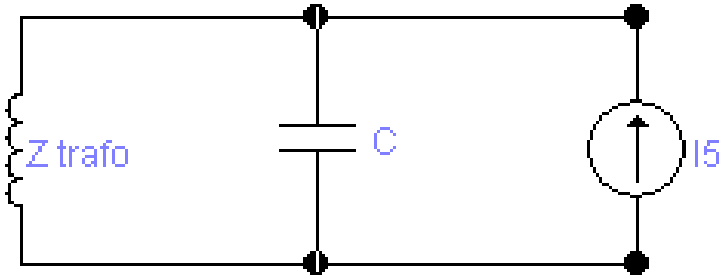
Inserção de capacitores em circuito típico Divisor de corrente

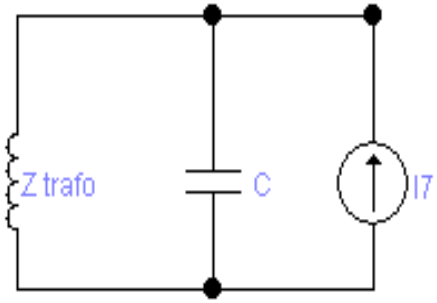


$$I_{cap}=(Z_L/(Z_c+Z_L))*I_t$$

A superposição de efeitos







60 Hz

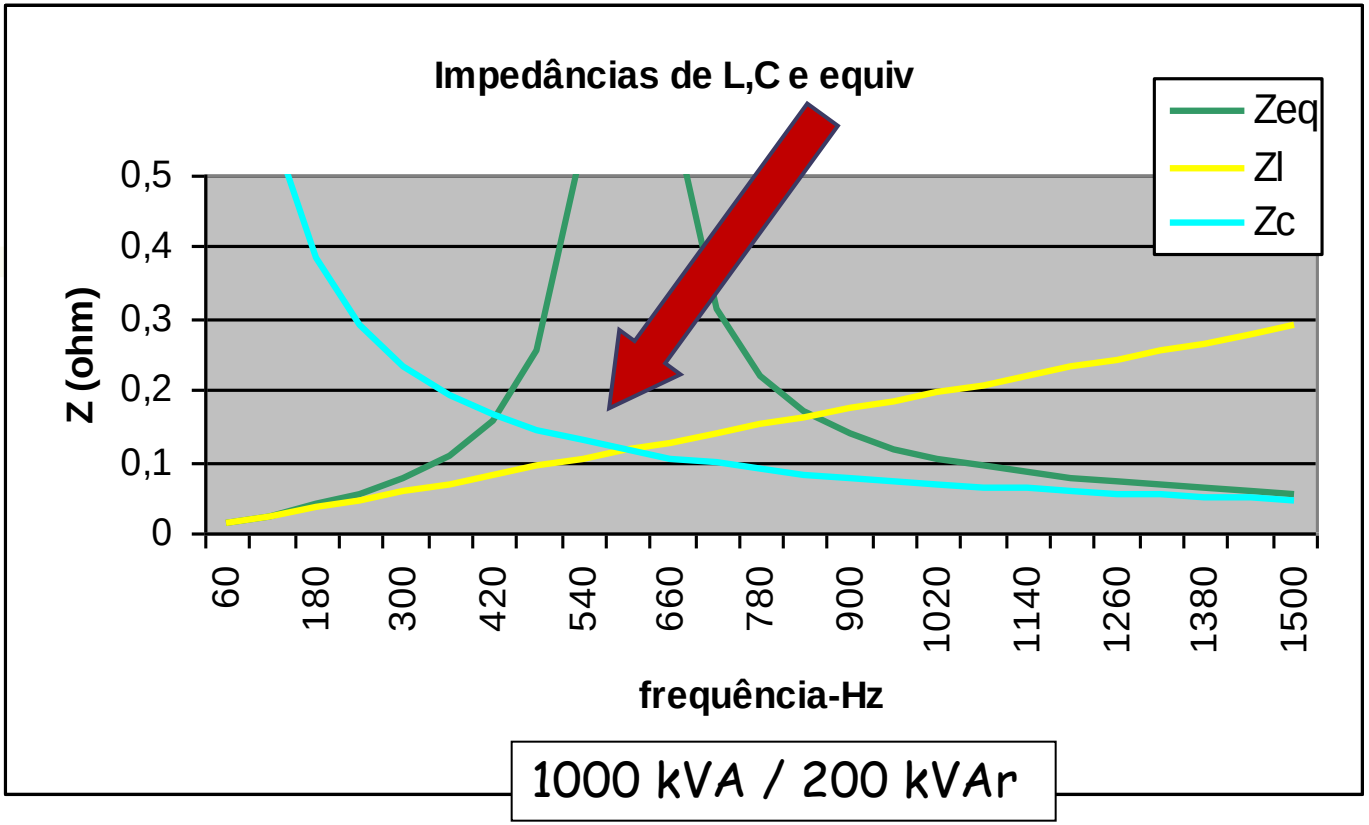
300 Hz

420 Hz

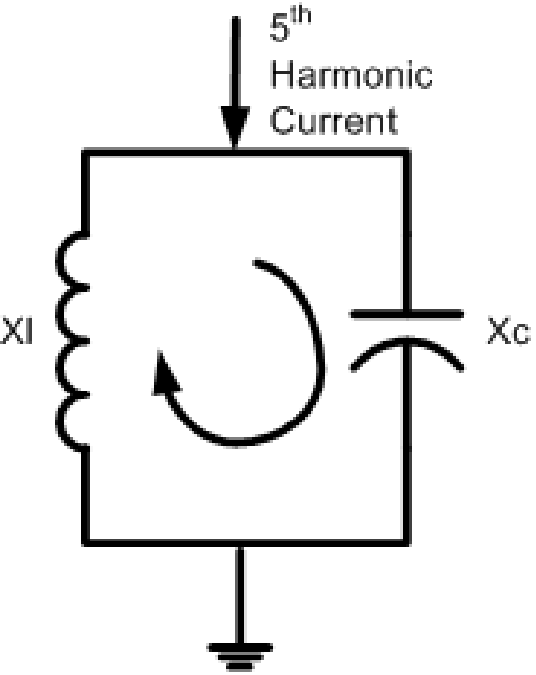
$Z_L = jwL$ $Z_C = 1/jwC$

U_{rms} I_{rms} ⇒ Médias quadráticas

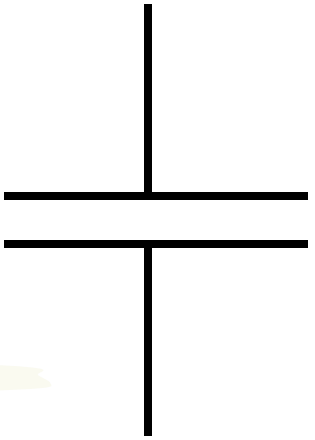
Comportamento da impedância com a freqüência



1000 kVA / 200 kVAr



Os capacitores

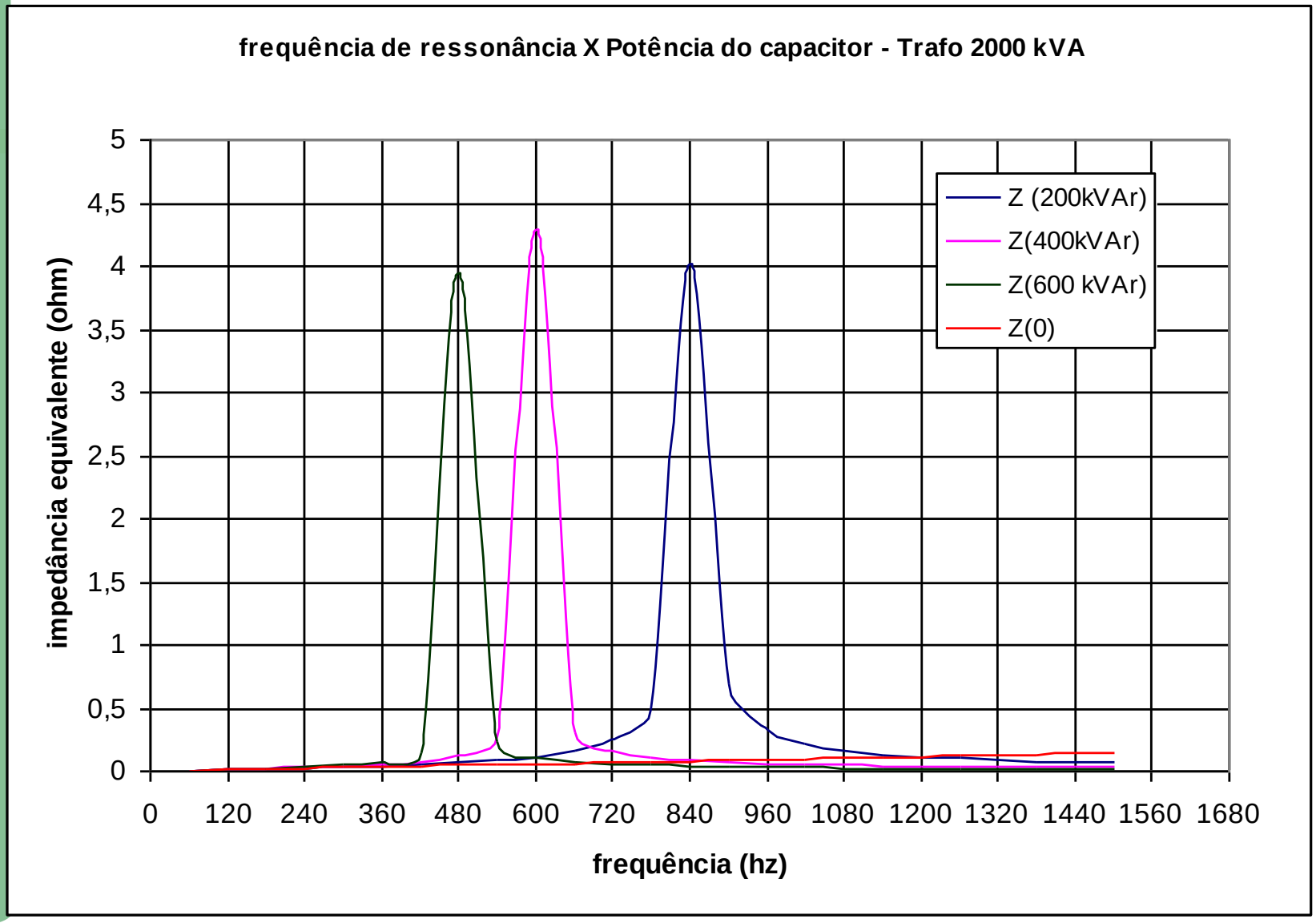


$$I_{cap} = I_{1cap} + I_{hcap}$$

$$U_{cap} = U_{1cap} + U_{h\,cap}$$

Se $I_{cap\,h} >>> I_{cap1}$ ⟹ $U_{cap\,h} >>> U_{cap1}$

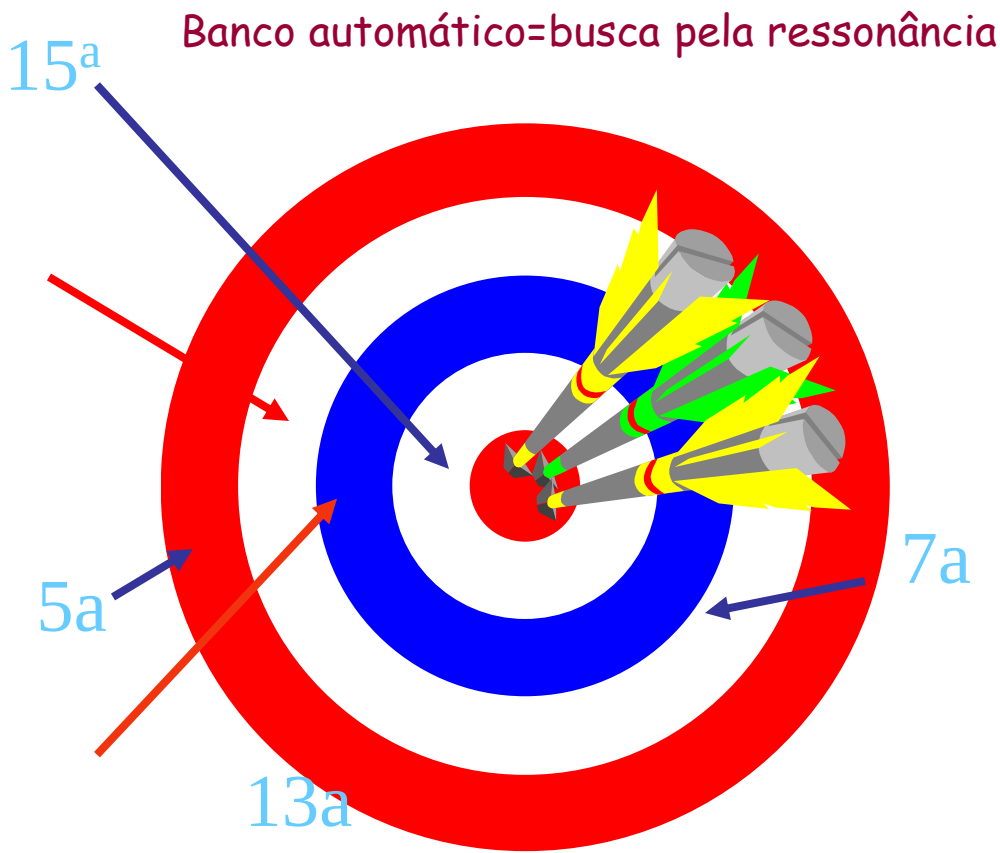
Impedância do sistema e injeção de reativo "automática"



Aspecto prático da ressonância:

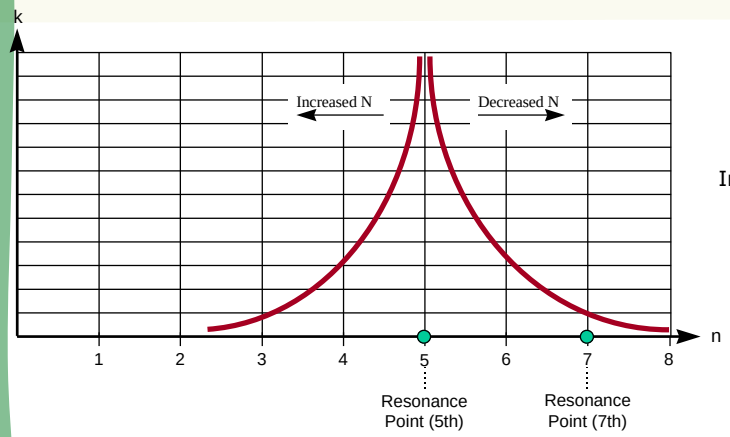
Trafo de 1000 kVA/5%

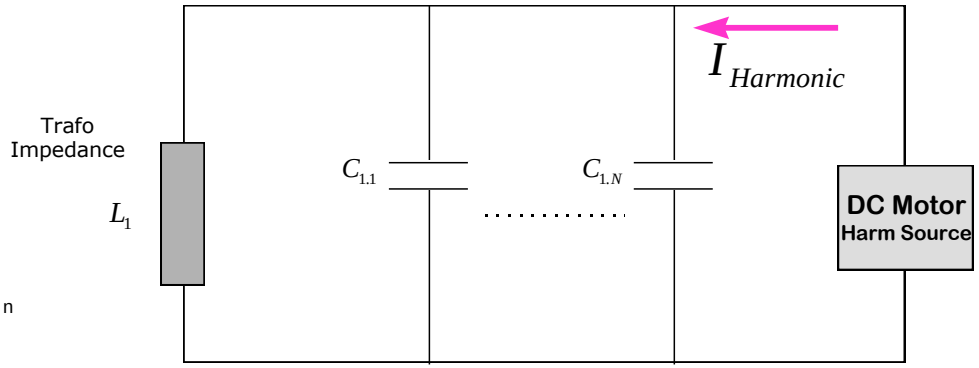
- Banco de 50 kVAr: Hr=20
- Banco de 100 kVAr:Hr=14
- Banco de 200 kVAr: Hr=10

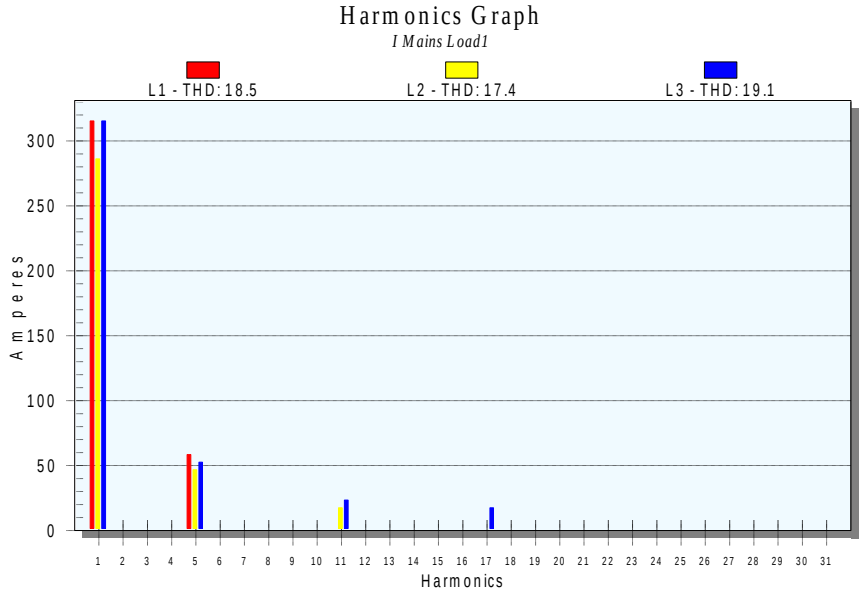


A RESSONÂNCIA

$$L_2 = 0 \quad Z = \frac{jwL_1}{1 - w^2 C_1 L_1 N}$$

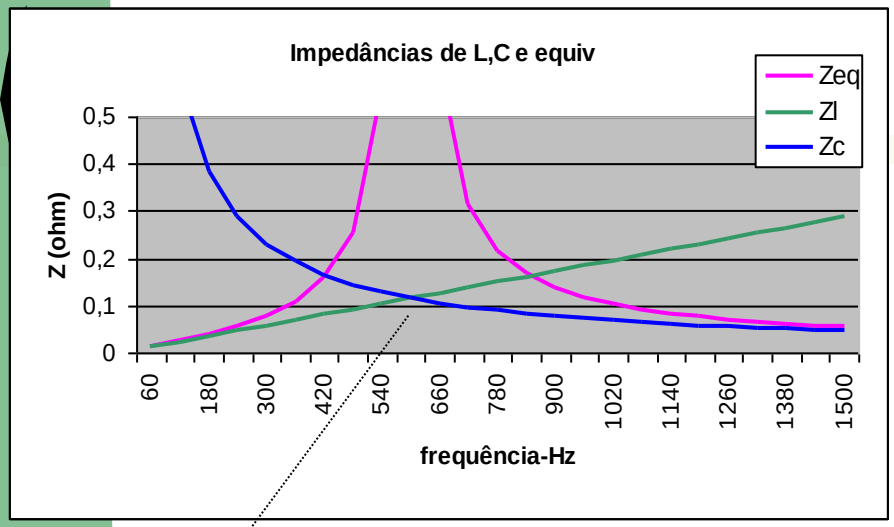


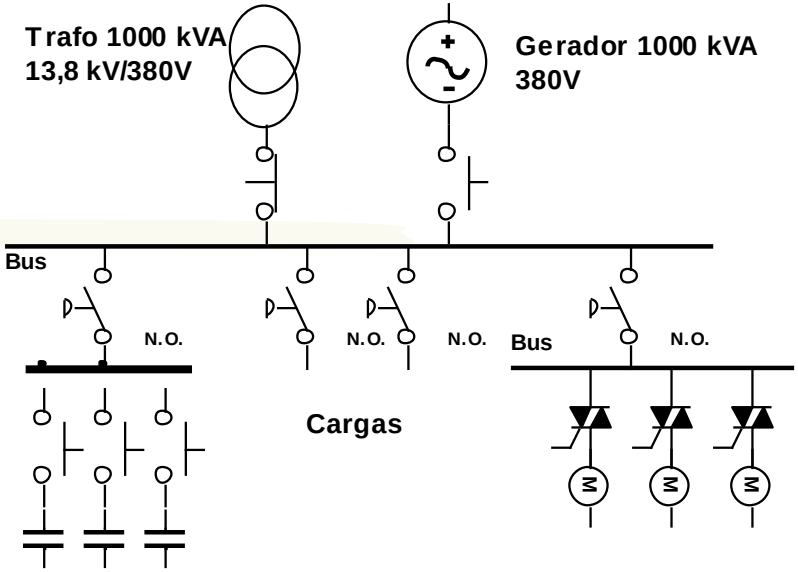




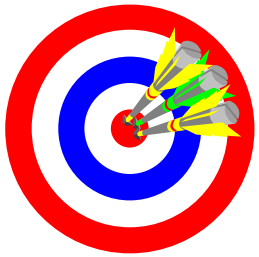
Comportamento da impedância com a freqüência

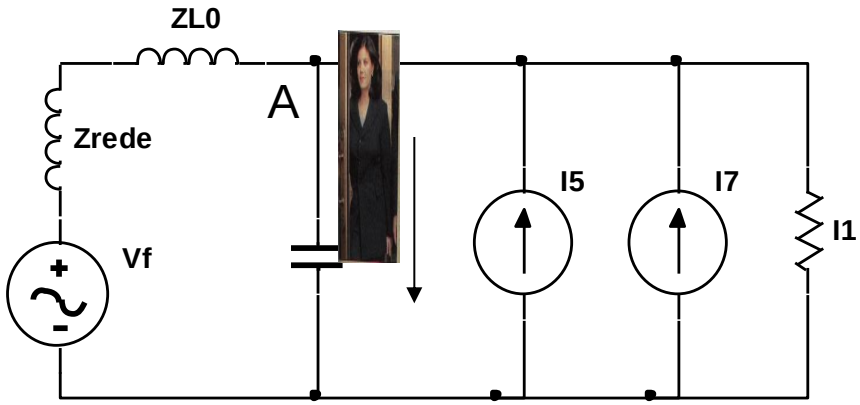
1000 kVA / 200 kVAr



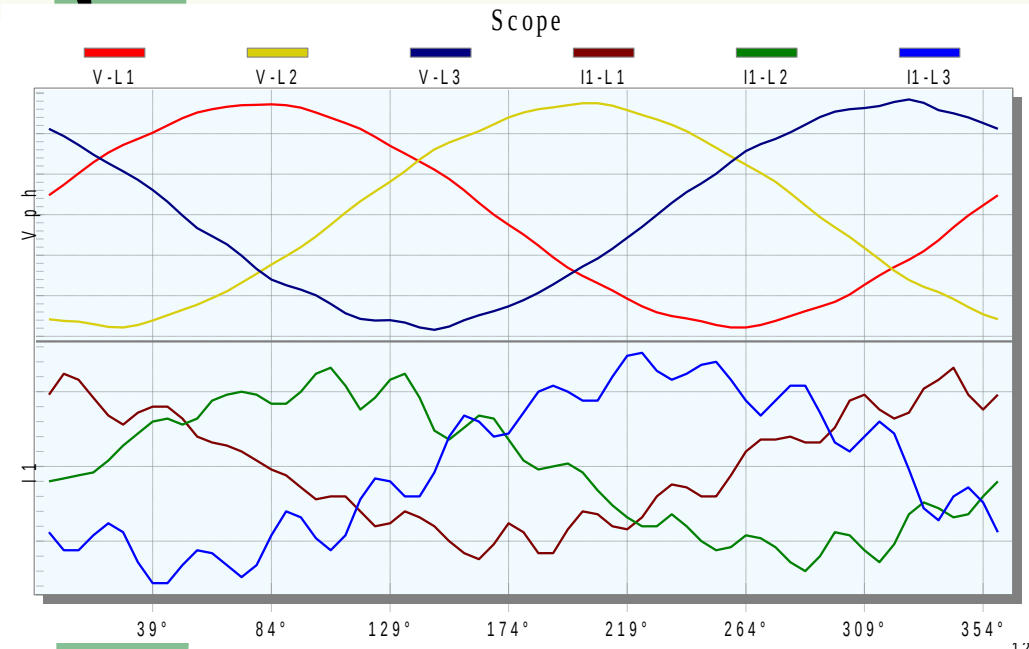


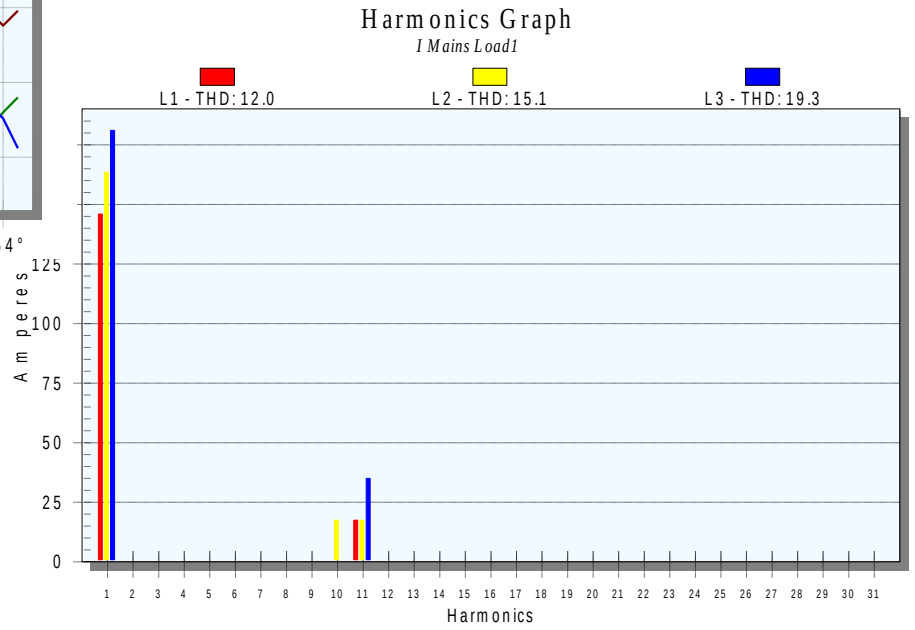
ressonância



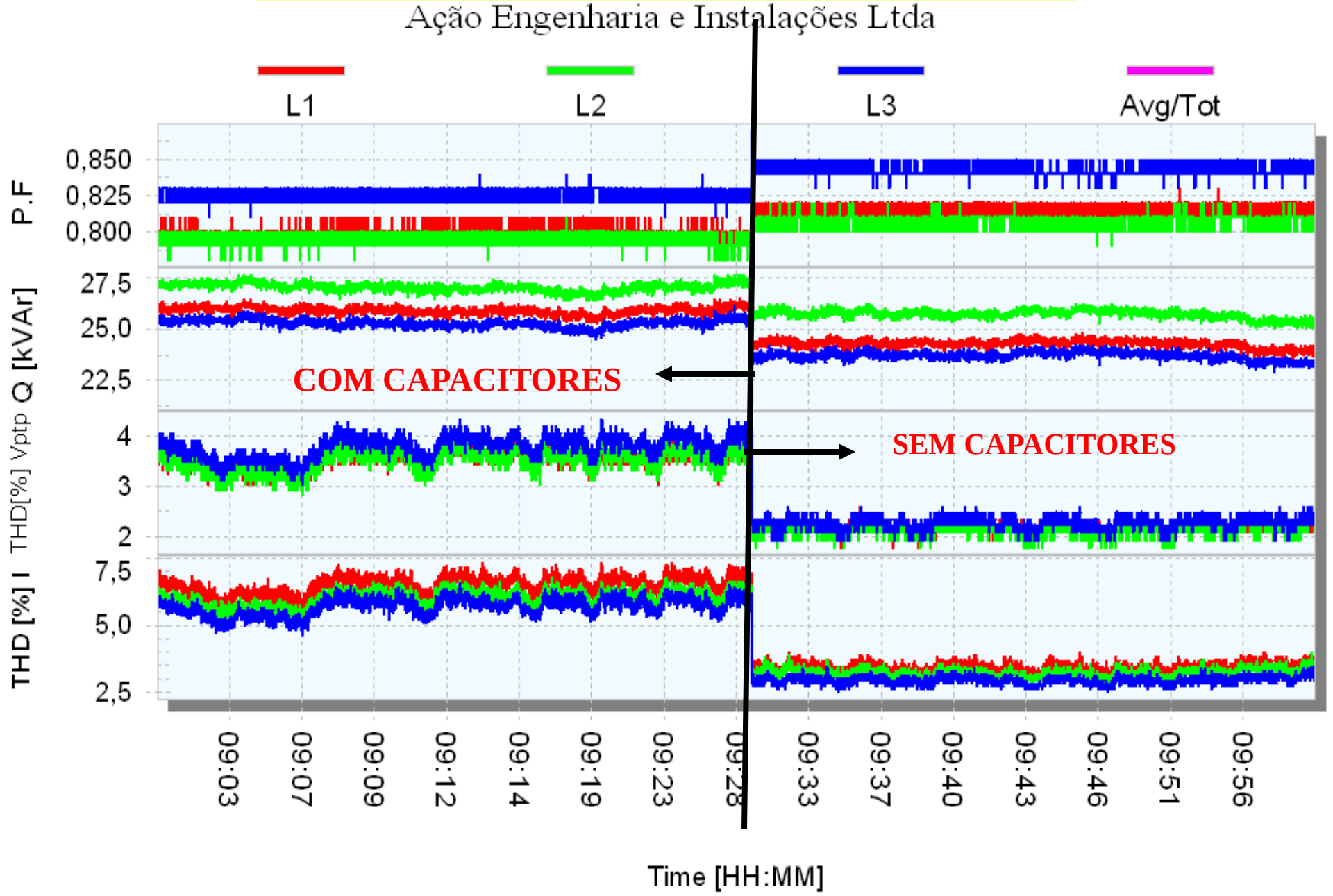


A ressonância e as correntes nos capacitores

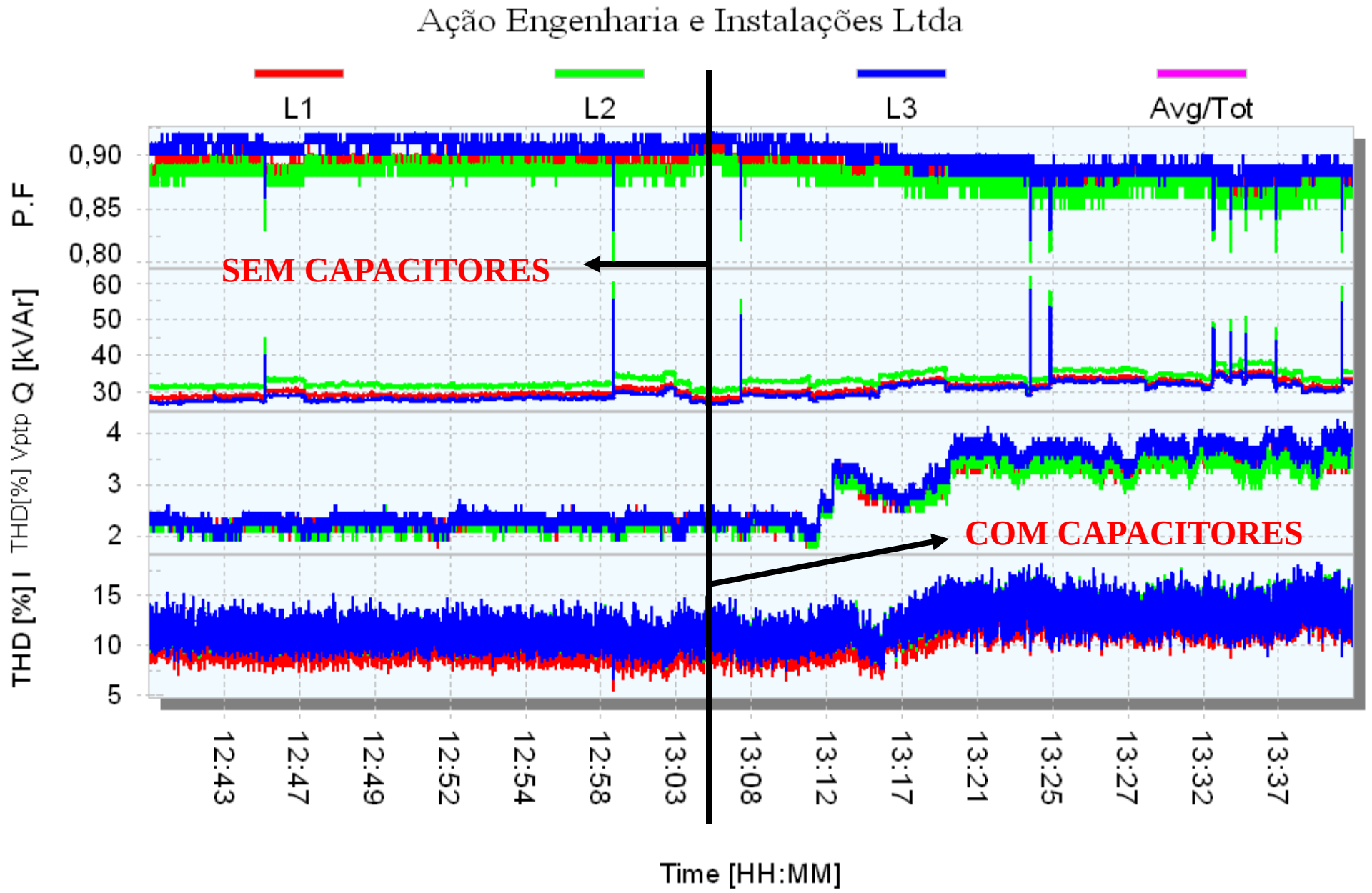




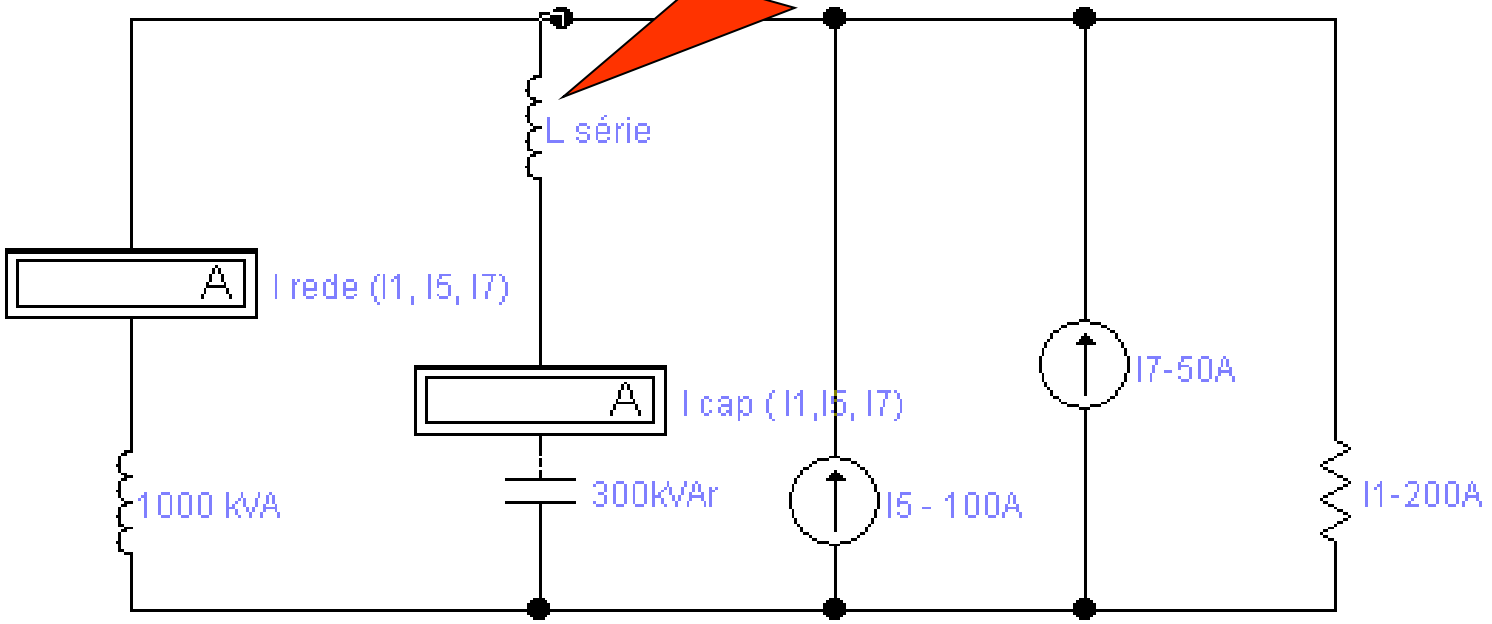
Ressonância



Ressonância



O que fazer na ressonancia paralela???



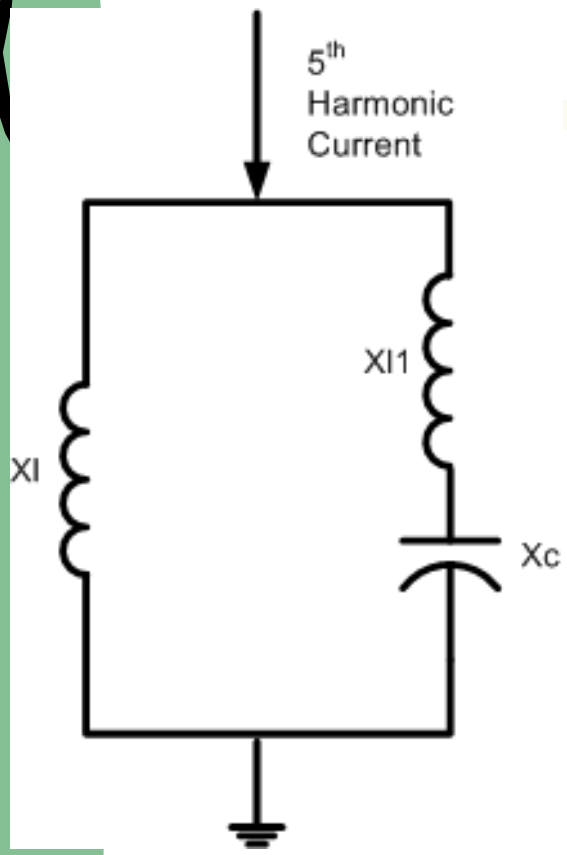
Como calcular a frequência de ressonância paralela?

- Para quem ama as fórmulas:

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} \;;\; Z_{LTR} = j\omega L_{TR} \;;\; Z_L = j\omega L$$

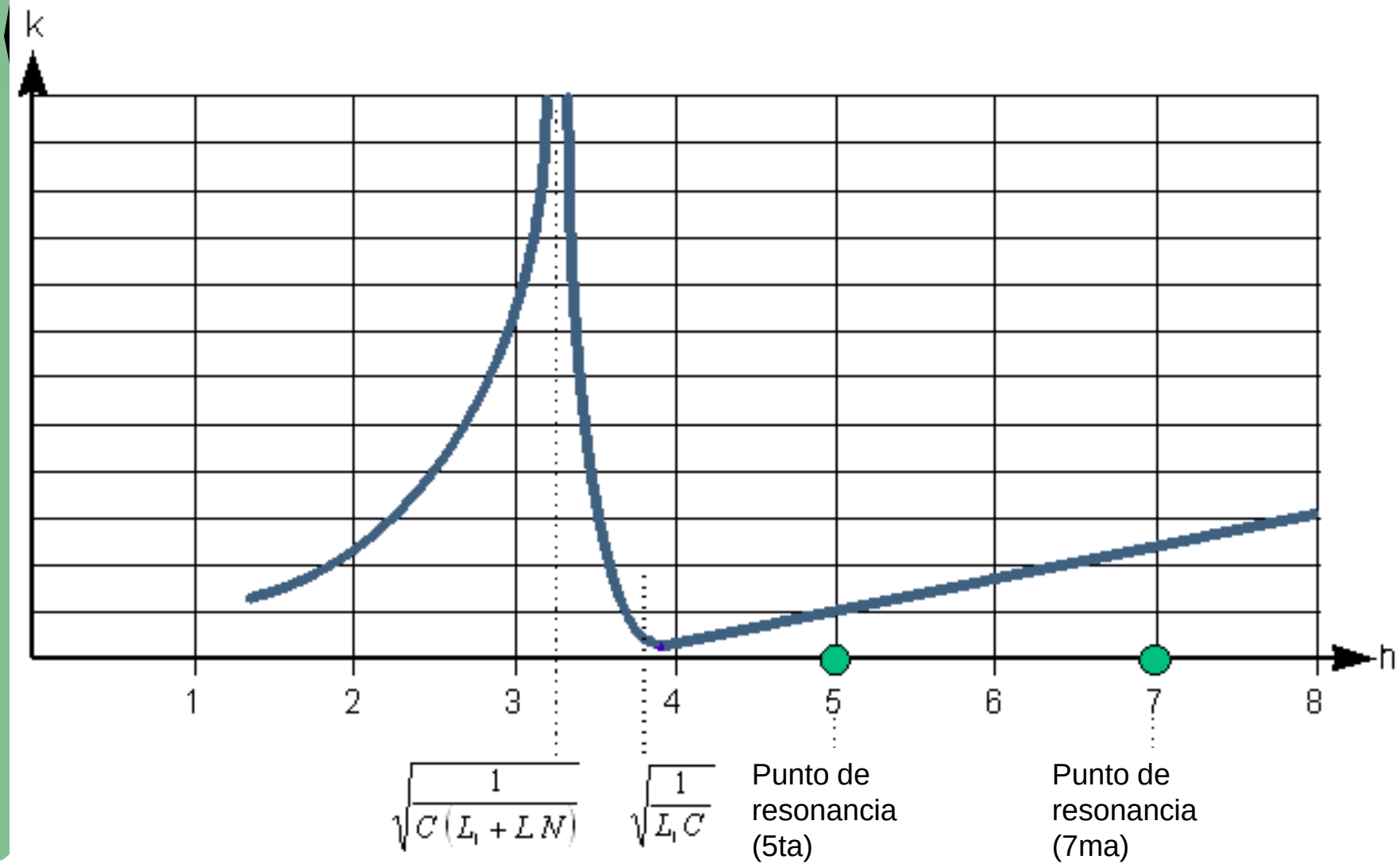
$$Z = \left[\frac{1}{N}\left(Z_C + Z_L\right)\right] \| \, Z_{LTR} \Rightarrow Z = \frac{\frac{1}{N}\left(\frac{1}{j\omega C} + j\omega L\right)\cdot j\omega L_{TR}}{\frac{1}{N}\left(\frac{1}{j\omega C} + j\omega L\right) + j\omega L_{TR}}$$

$$Z = \frac{\frac{L_{TR}}{C} - \omega^2 L L_{TR}}{\frac{1-\omega^2 CL - \omega^2 C L_{TR} N}{j\omega C}} \Rightarrow Z = \frac{L_{TR}\left(1-\omega^2 LC\right)\cdot j\omega}{1-\omega^2 CL - \omega^2 C L_{TR} N}$$



- Um Reator XL1 em série com o capacitor move a freqüência de ressonância para valores menores.
- A nova freqüência de ressonância se modifica para: Xc=XL+XL1
- A nova freqüência de ressonância é deslocada para valores menores da menor harmônica dominante.

Solução antirressonante ou "Dessintonizada"

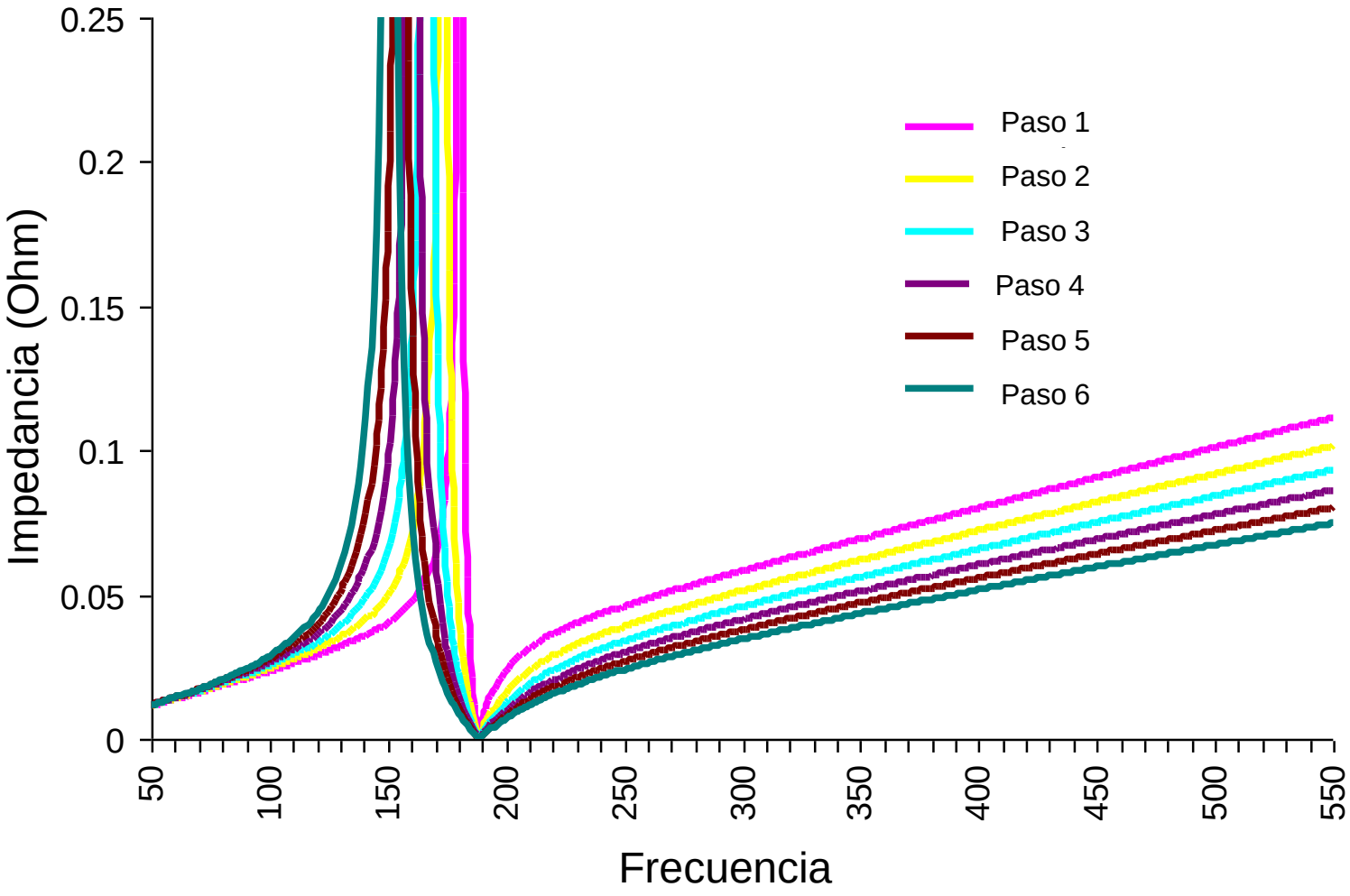


Soluções Dessintonizadas – Definicões

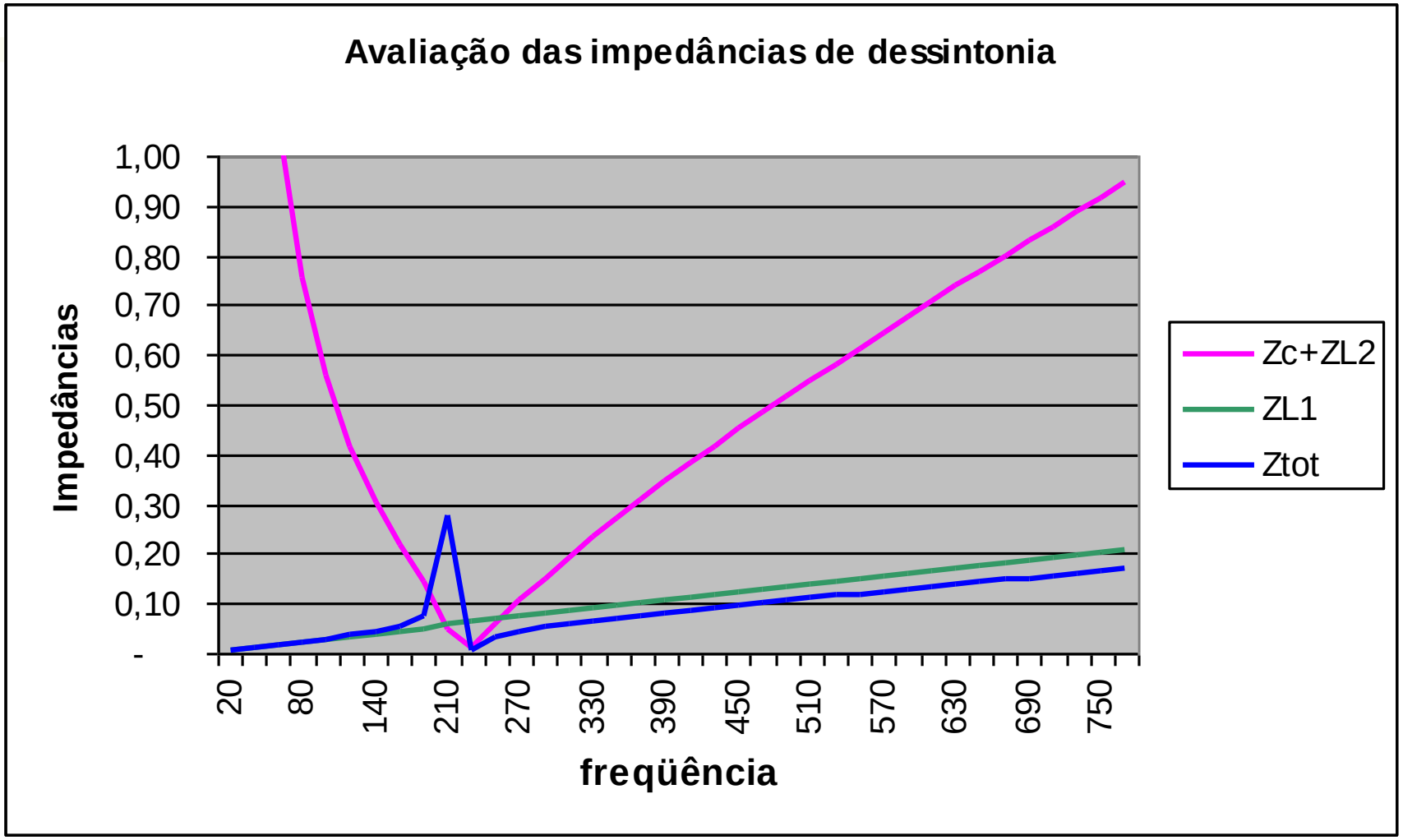
- A frequência de ressonância se define pelo ponto de ressonância serie.
- Os reatores conectados em série se definem por valores percentuais, definidos pela relação de sua **impedância na frequência fundamental em relação a impedância dos capacitores na mesma frequencia.**

Reator	60Hz	Harmônica
7%	227Hz	H3.78
6%	245Hz	H4.08
14%	160Hz	H2.67
5.67%	252Hz	H4.2

Solução Dessintonizada de 7%

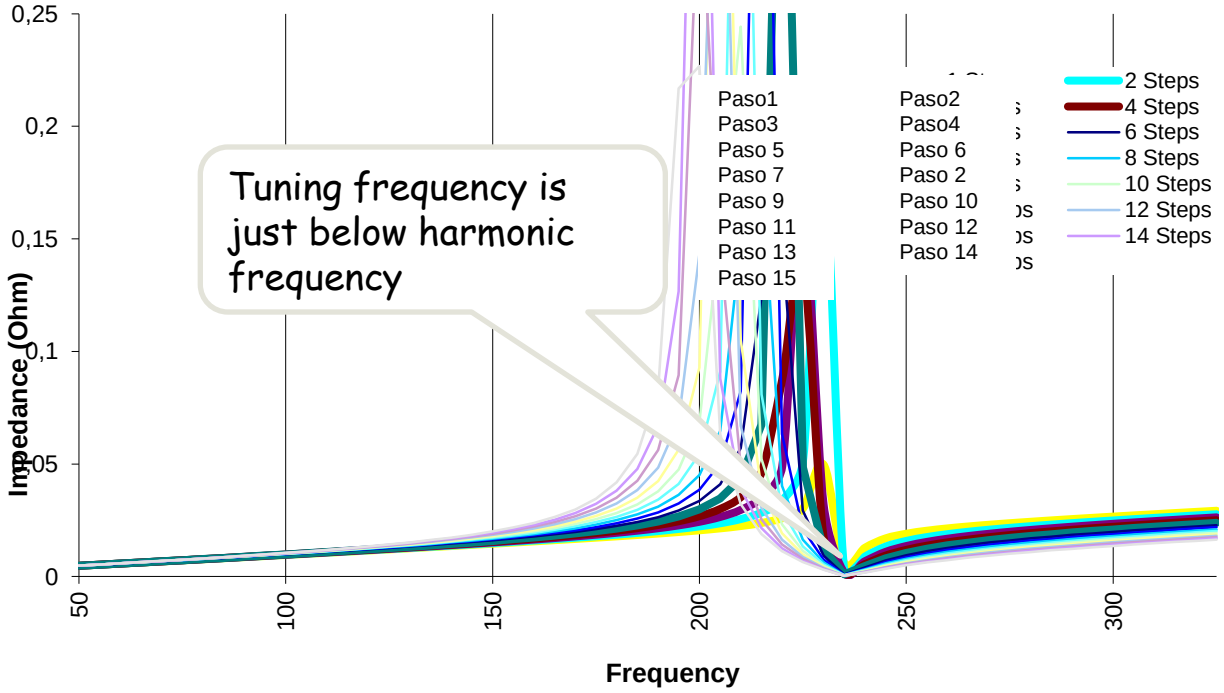


Comportamento com a dessintonia



Soluções Sintonizadas - Filtros

- Os filtros passivos são "sintonizados" próximo a frequência harmônica.



O que fazer com niveis altos de THDV

- Desconecte TODOS os capacitores:
  - Se existirem diferenças significativas use solução desintonizada.
  - Não existem diferenças? Solução sintonizada
- 2as e 4as harmônicas altas?- conversores de frequencia com problemas
- Rede com baixa Pcc - Solução desintonizada em 14% é preferida ao invés de 7%
- Compensação desbalanceada? – somente soluções 14%.
- Tensões harmônicas sem fontes de corriente - concessionaria.
- 5as harmonicas e superiores – 7%
- 3as harmonicas e superiores – 14%

O incremento de tensão e a compensação reativa

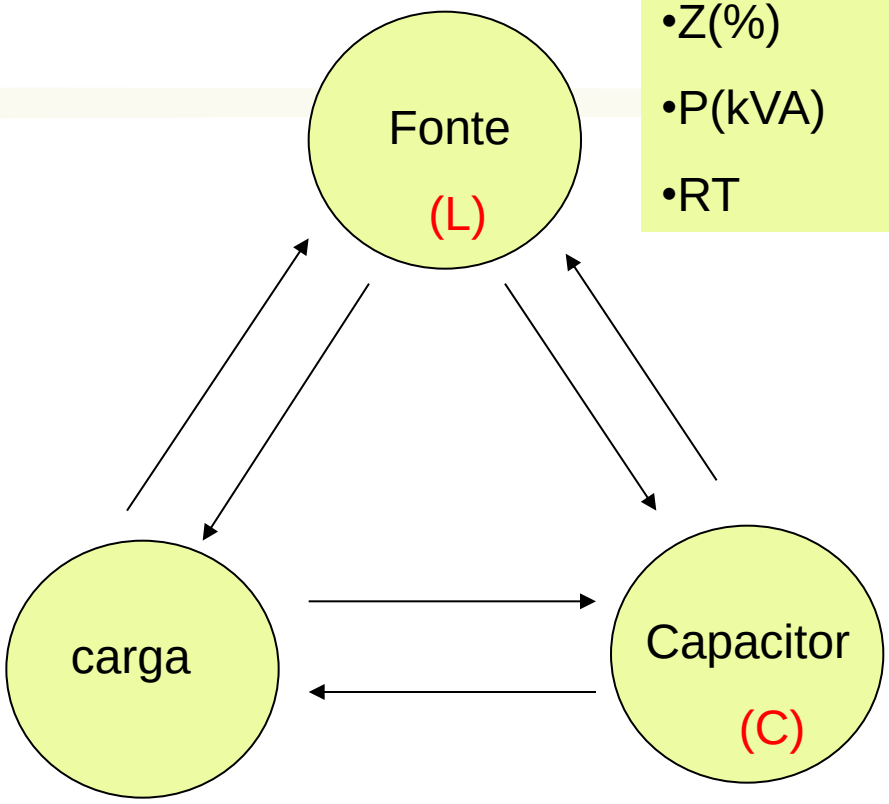
Em sistemas sem ressonância

% U= Qcap (kVAr) . Ztr (%) / Ptr (kVA)

Elevação abrupta de tensão na presença de capacitores ⇒

RESSONÂNCIA

As correspondências

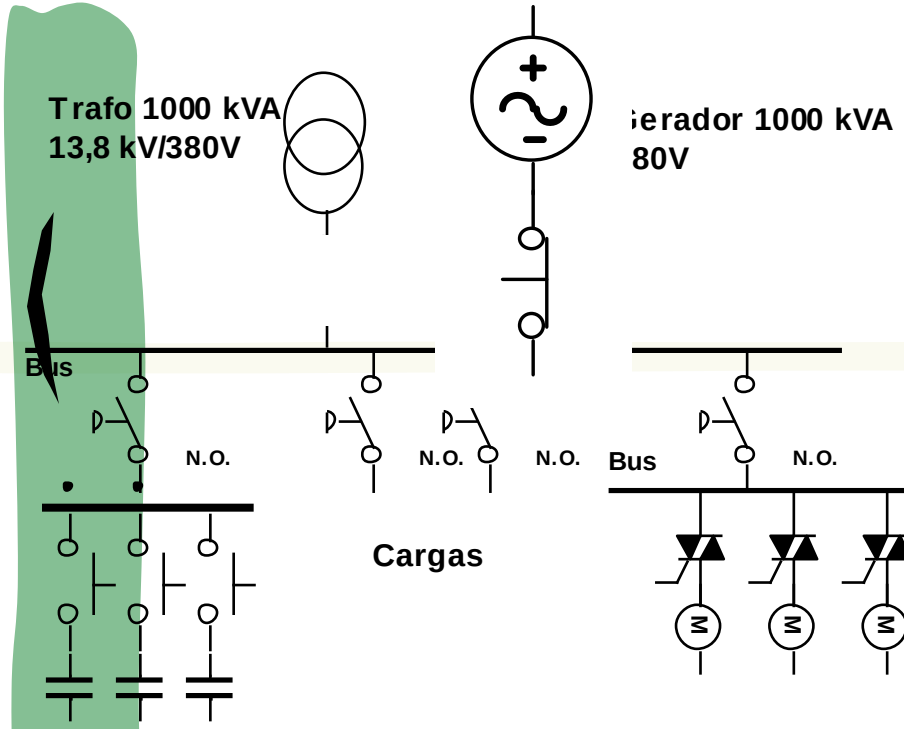


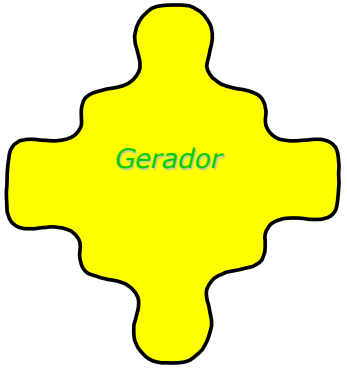
- Z(%)
- P(kVA)
- RT

- Regime
- Linearidade

- Concepção
- Tipo de Manobra
- Z
- Q injetado

Geradores e Capacitores





X

O que acontece??????

- Sobre-excitação do gerador – "curva de "Culpabilidade" " com limitação de alimentação de carga capacitiva.
- Mudança da impedância da rede, com possibilidades de ressonância, mesmo que não ocorra quando da alimentação pelo trafo. ("efeito apagão"). Trafo/Gerador de 1000 kVA com 200 kVAr: Mudança da frequência de ressonância da 10ª harmônica para a 5ª harmônica!!!!
- O capacitor é uma das partes mais sensíveis do sistema, e não suporta "desaforos". Quando ele queima, a impedância do sistema muda. Quando bem tratados, duram 15 anos.
- Injeção de reativo pode não ser adequada ao "tempo da carga"

Sistemas de compensação de reativos
Alguns aspectos de decisão

Fixo

Semi automático

Automático

Tempo real

Sem indutor(só capacitor)

Sobre-dimensionado(U^)

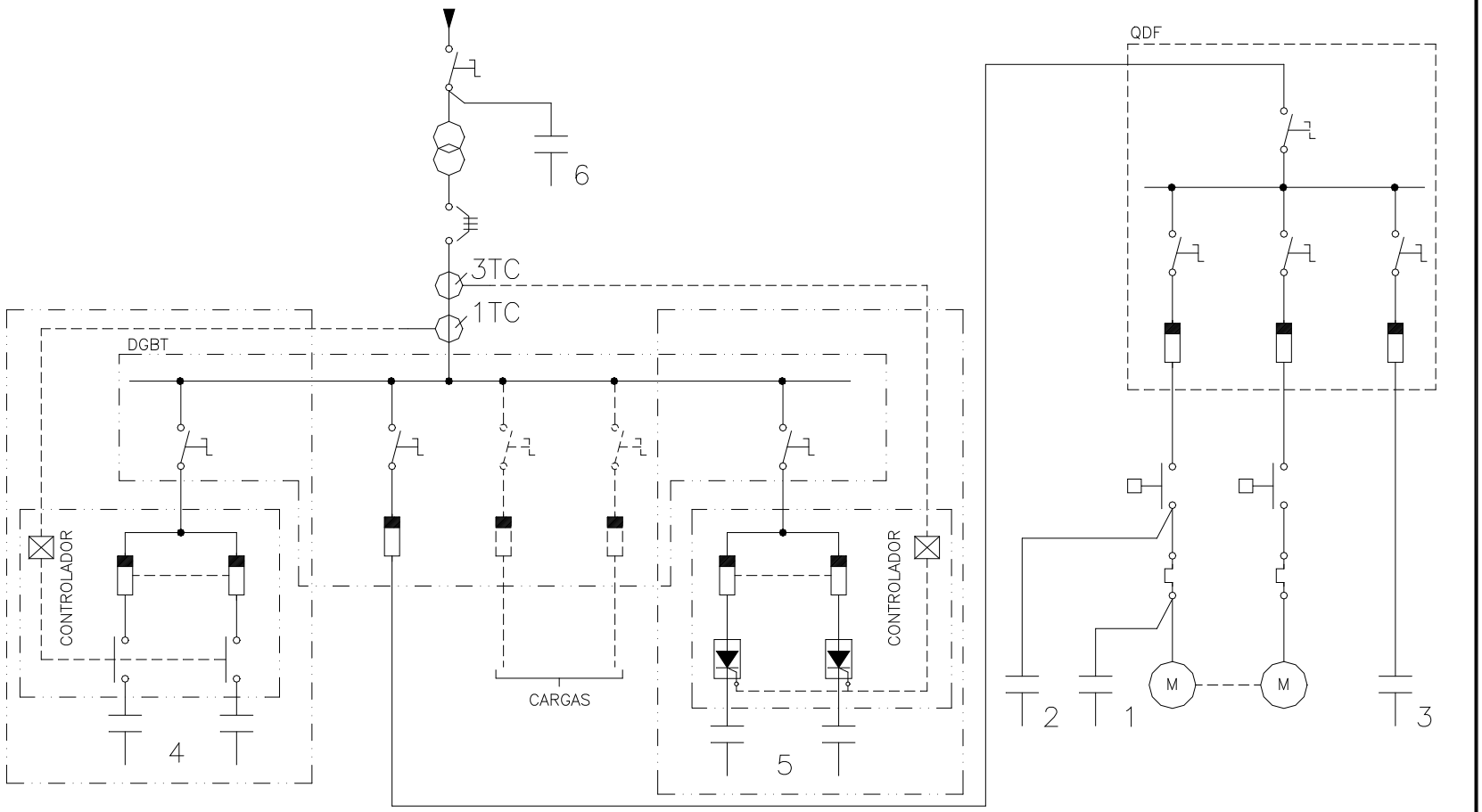
Com indutor In rush

Com filtro anti-ressonante

Com filtro ressonante

solução

Métodos da compensação da Energia Reativa



POSSIBILIDADE DE LOCALIZAÇÃO DOS CAPACITORES (BANCOS) EM UMA INSTALAÇÃO ELÉTRICA

Capacitores, Vnom e V serviço

Z cte= 1/WC $\qquad$ $Q_{cap}=U^2/Z$

Se: $U_{serv} < U_{nom}$; $Q = (U_{serv}/ U_{nom})^2$

$(220/380)^2=0,33$ $\quad$ $(380/440)^2=0,75$

30 kVAr/220, ligado em 380; 0,33 x 30 = 10 kVAr

Inserção de L em série com C - U^~ ZL/ZC ;

"Nem sempre se pode aproveitar os capacitores existentes na inserção de indutores"

Se ZL/Zc=7% $\quad$ Ucap = Un/0,93; $\quad$ Se Un=220V;

Ucap~237V (além das sobretensões da rede)

Manobra: Estática vs. Eletro-Mecânica

Vantagens da manobra estática:

- Isenção de Transientes
- Prevenção de desgaste de contato
- Ilimitado número de Conexões e Desconexões
- Tempo da manobra

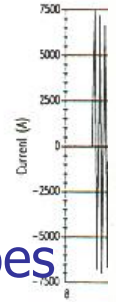


Figure 2–

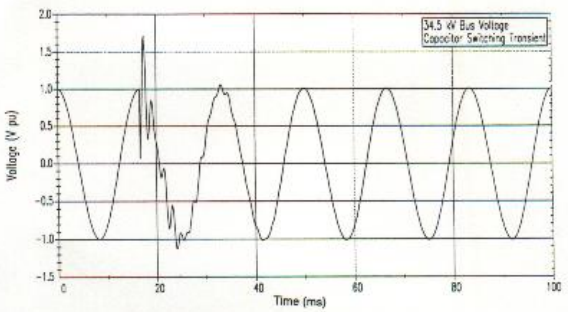
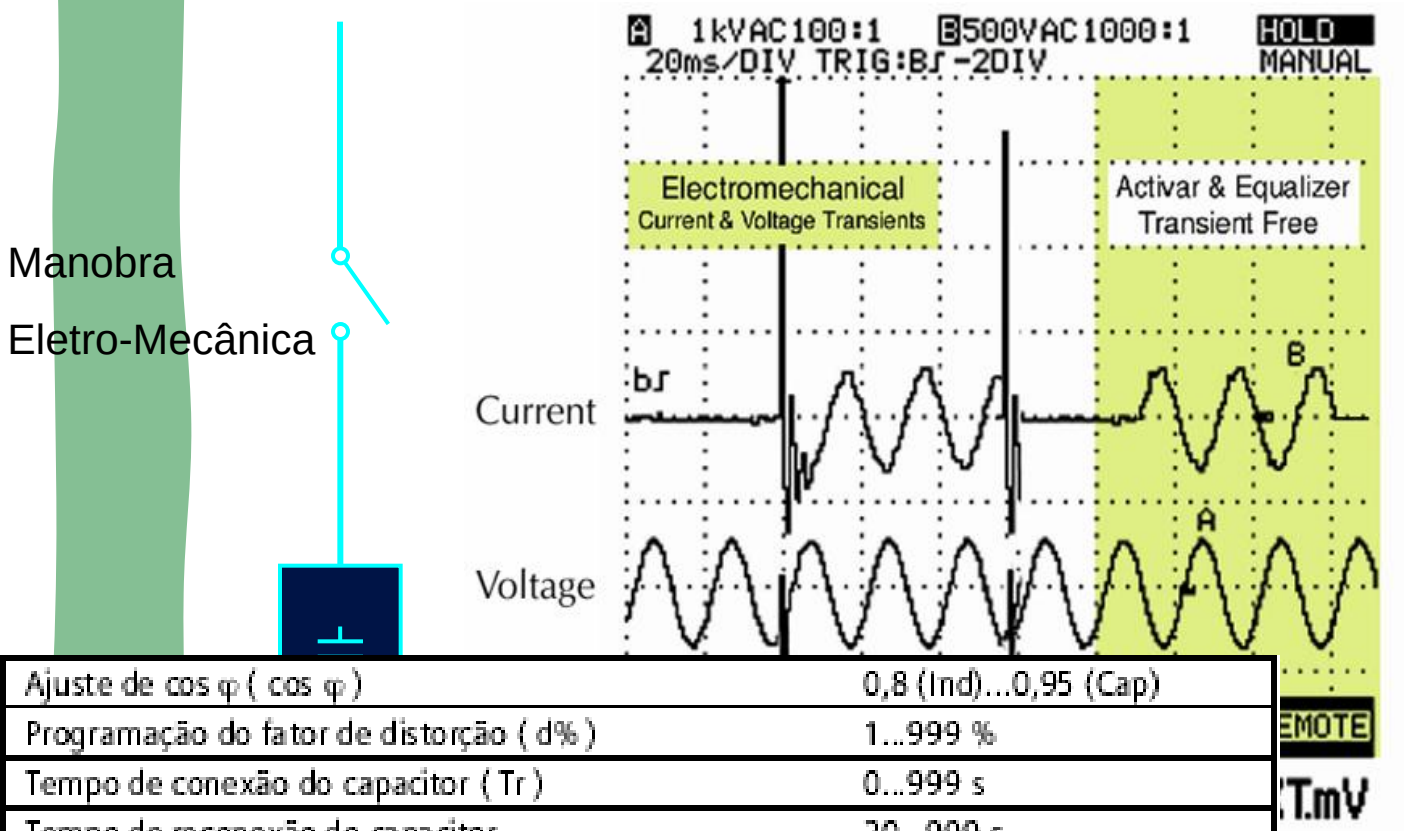


Figure 3—Low frequency oscillatory transient caused by capacitor-bank energization



Ajuste de cos φ (cos φ)	0,8 (Ind)...0,95 (Cap)
Programação do fator de distorção (d%)	1...999 %
Tempo de conexão do capacitor (Tr)	0...999 s
Tempo de reconexão do capacitor	20...999 s

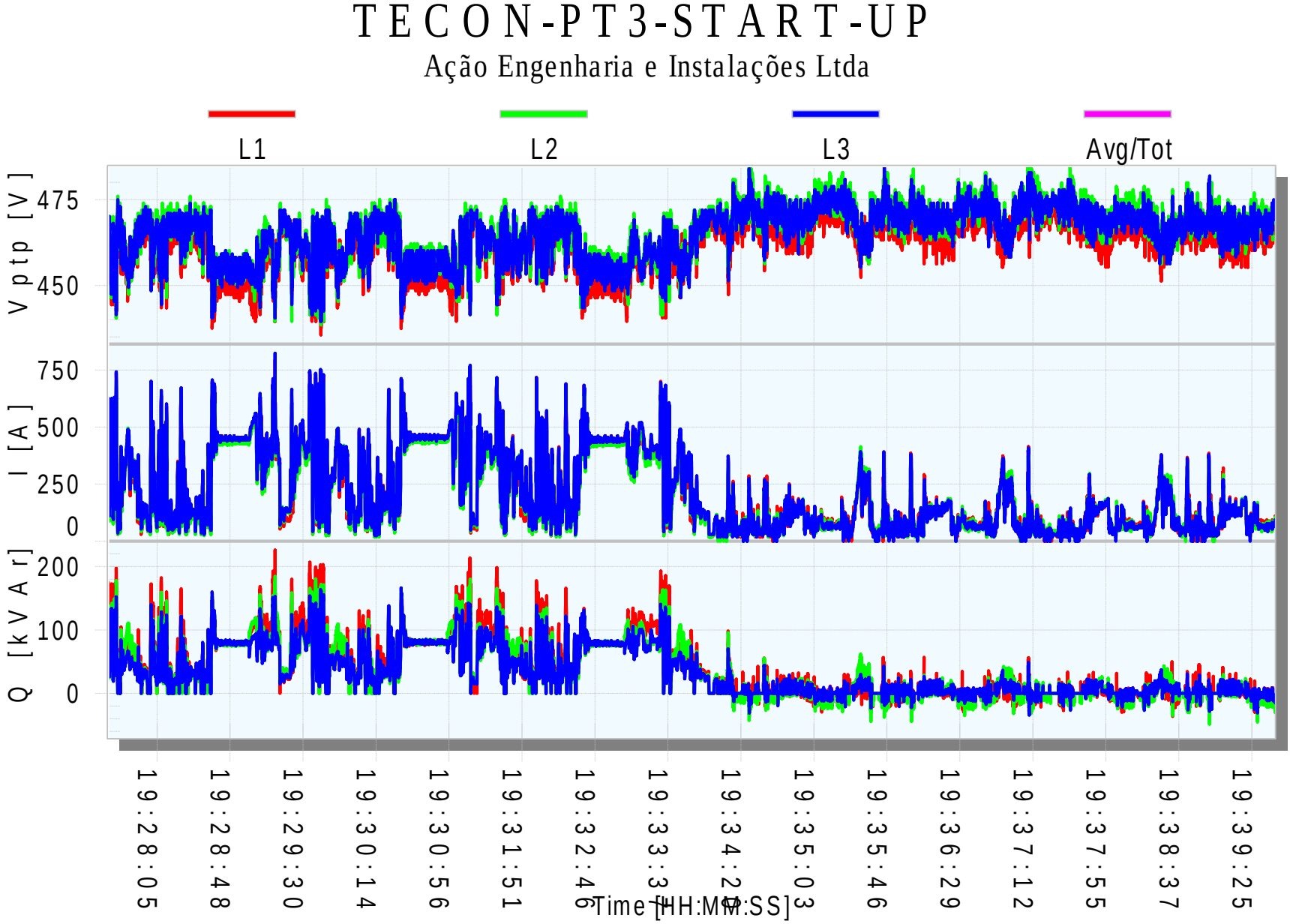
COMPENSAÇÃO EM TEMPO REAL

resumo de características

- Tempo de resposta
- Isenção de transientes de manobra
- Qualidade de energia assegurada
- Compatibilidade a cargas não lineares
- Confiabilidade
- Flexibilidade
- kW=kVA

Santos Port, Brazil
12 systems, 3.8 MVAr total

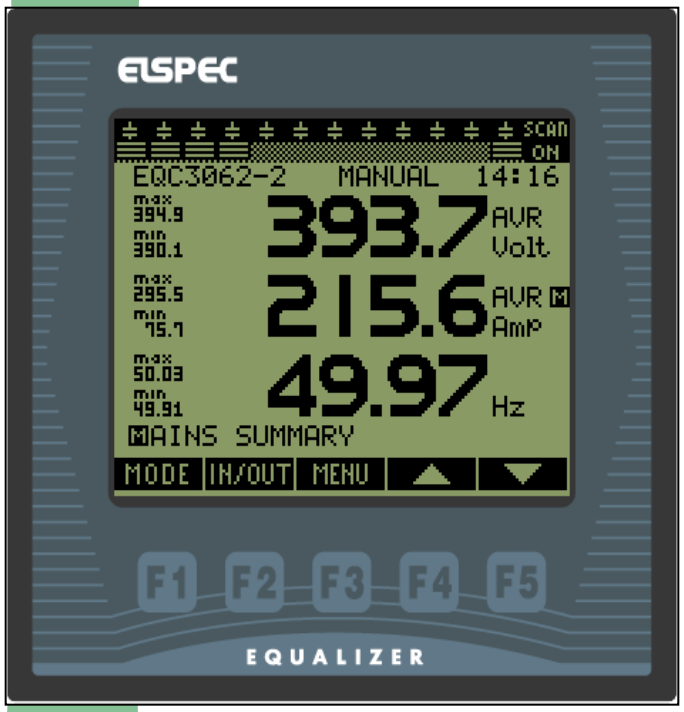
Guindastes


TECON-PT3-START-UP
Ação Engenharia e Instalações Ltda
L1
L2
L3
Avg/Tot
V p-p [V]
475
450
I [A]
750
500
250
0
Q [kVAr]
200
100
0
19:28:05
19:28:48
19:29:30
19:30:14
19:30:56
19:31:51
19:32:46
19:33:37
19:34:20
19:35:03
19:35:46
19:36:29
19:37:12
19:37:55
19:38:37
19:39:25
Time [HH:MM:SS]

840 kVAr - ½-1-2-2-2

Componentes do Sistema

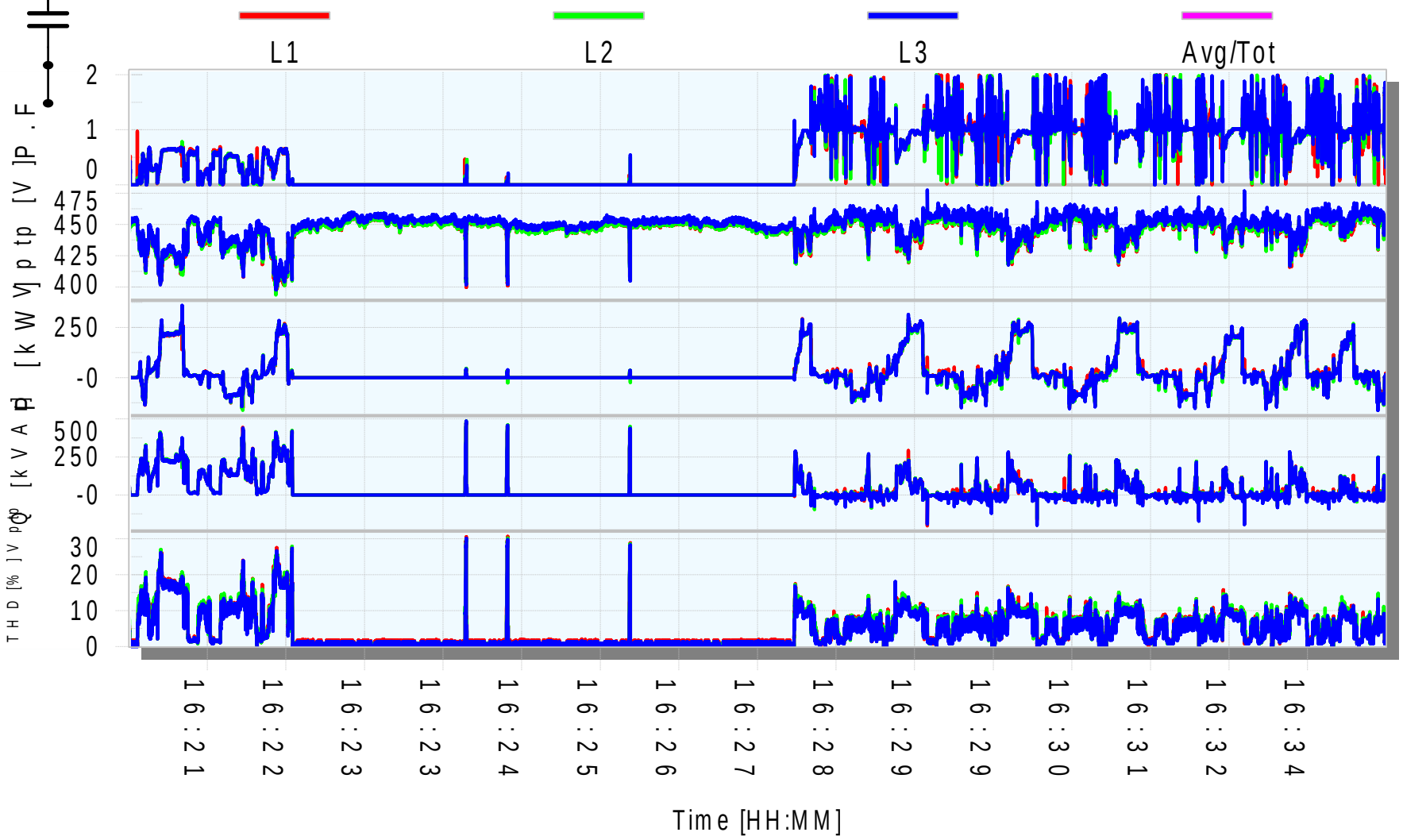
Chave estática



O Controlador

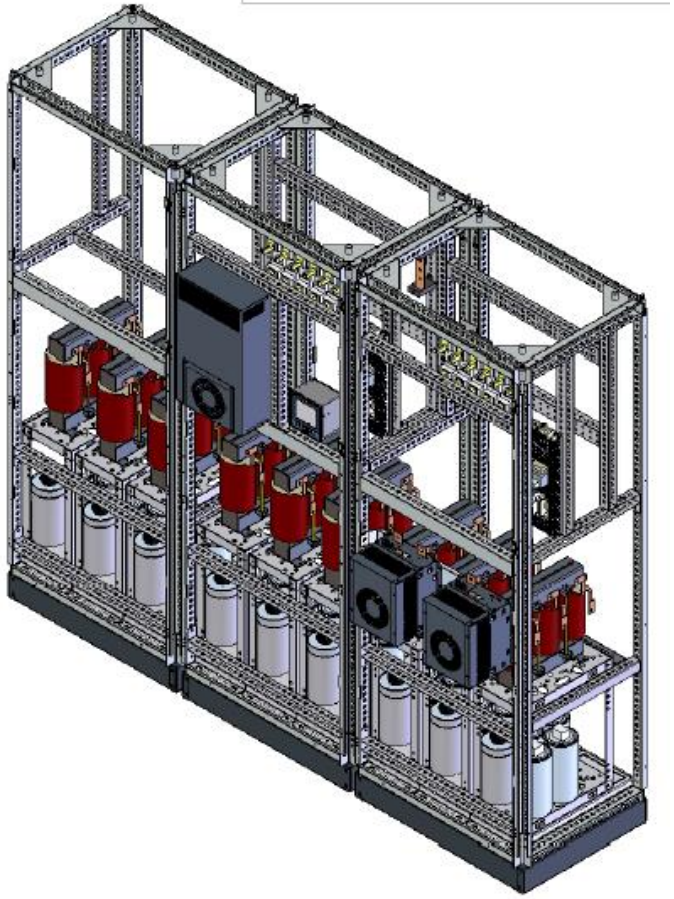
Módulo Capacitor e Indutor

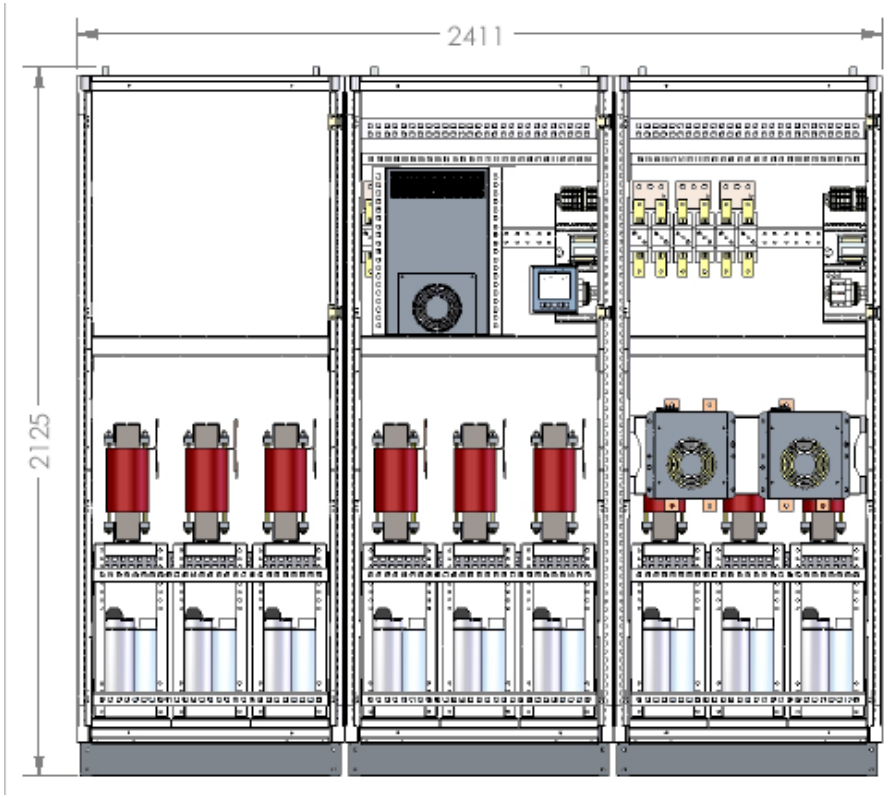
Case-compensação reativa e THDV



Solução de compensação tempo real
PERIGO
QUADRO
ENERGIZADO
380 Volts
Solda a ponto - automobilística

Confiabilidade do projeto ao start-up



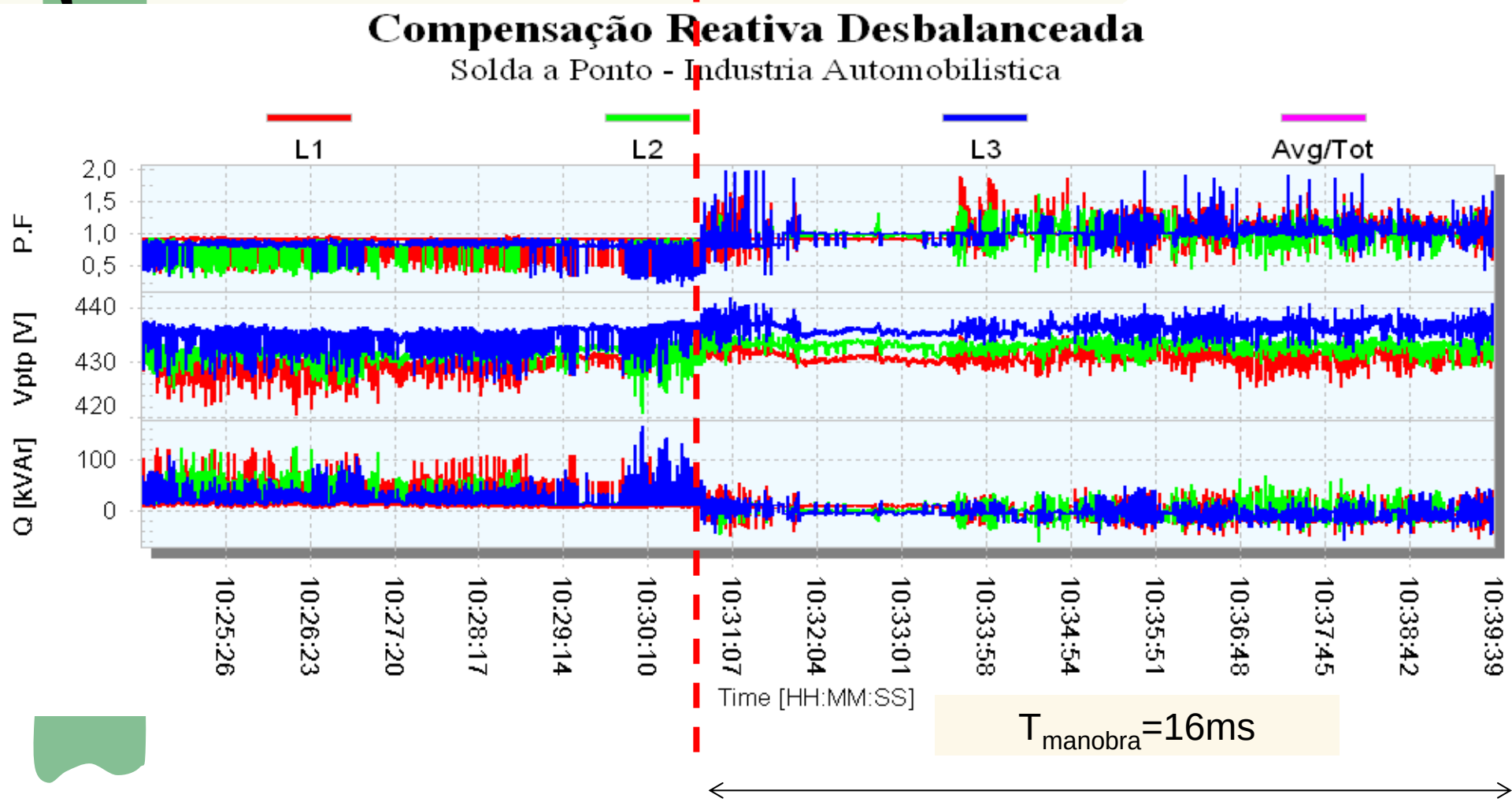


Equipamentos compactos

O comportamento geral

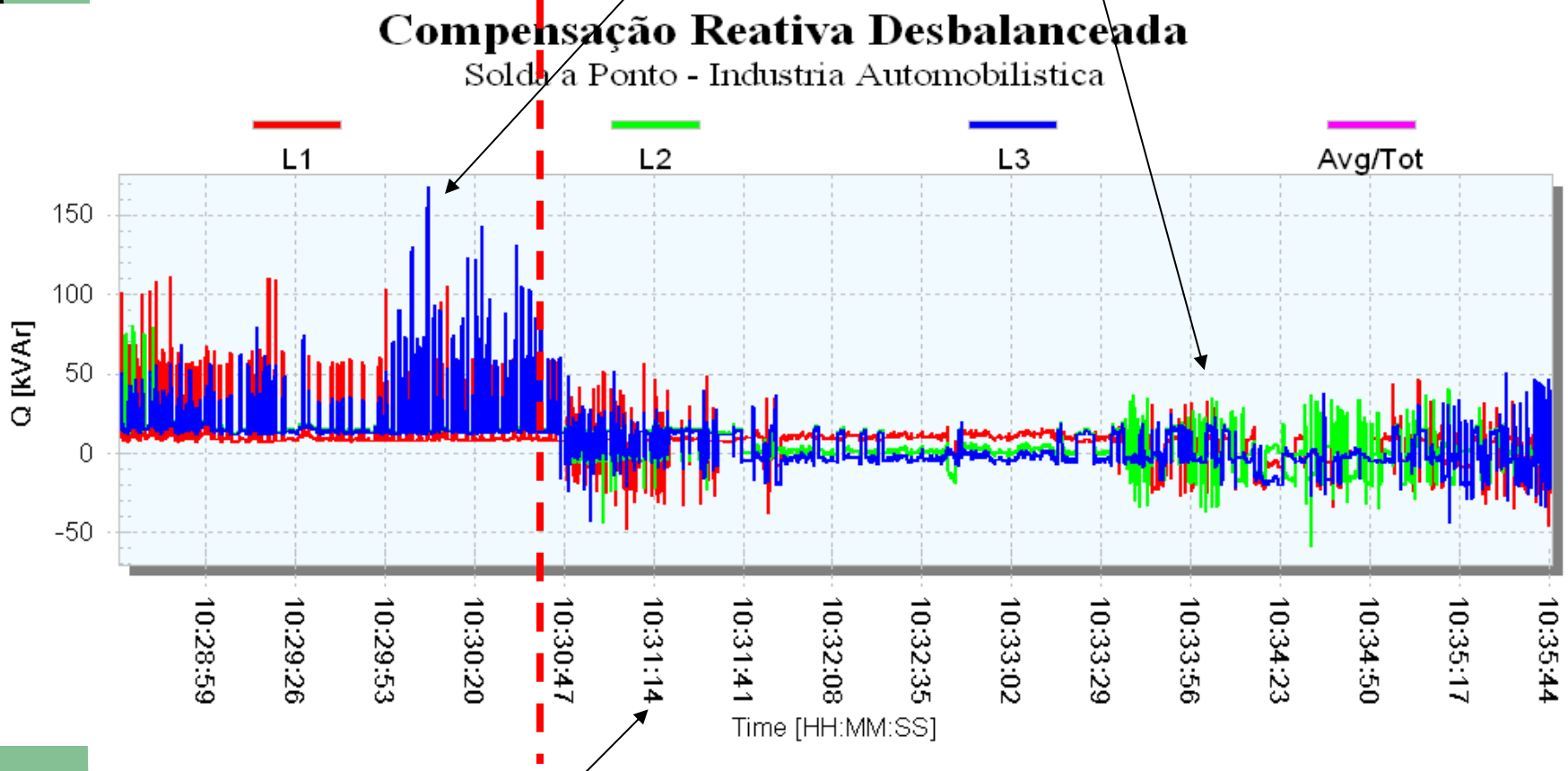
antes

depois



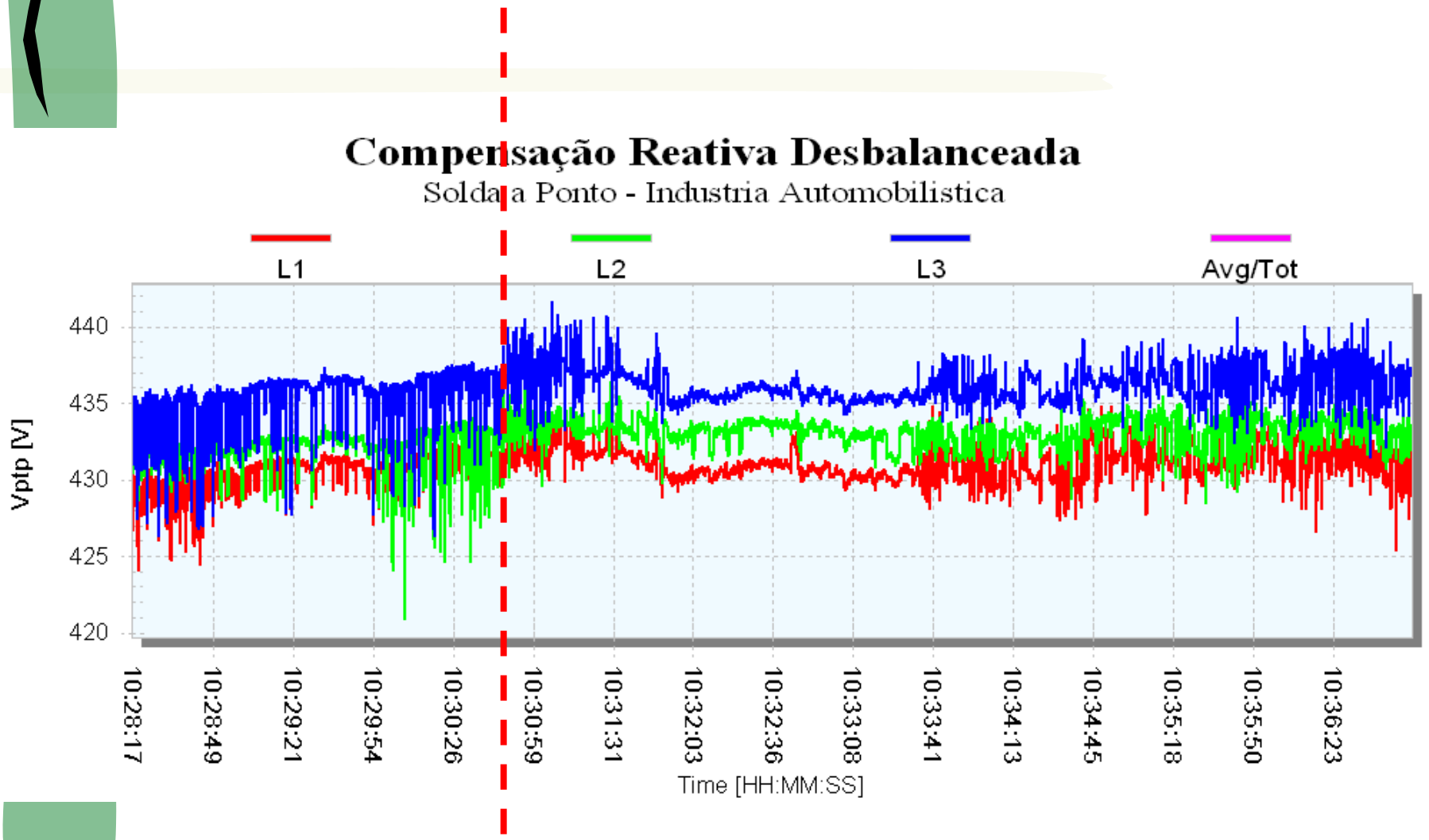
$T_{manobra}$=16ms

Consumos maiores de 150 kvar por fase são reduzidos a valores menores de 50 kvar

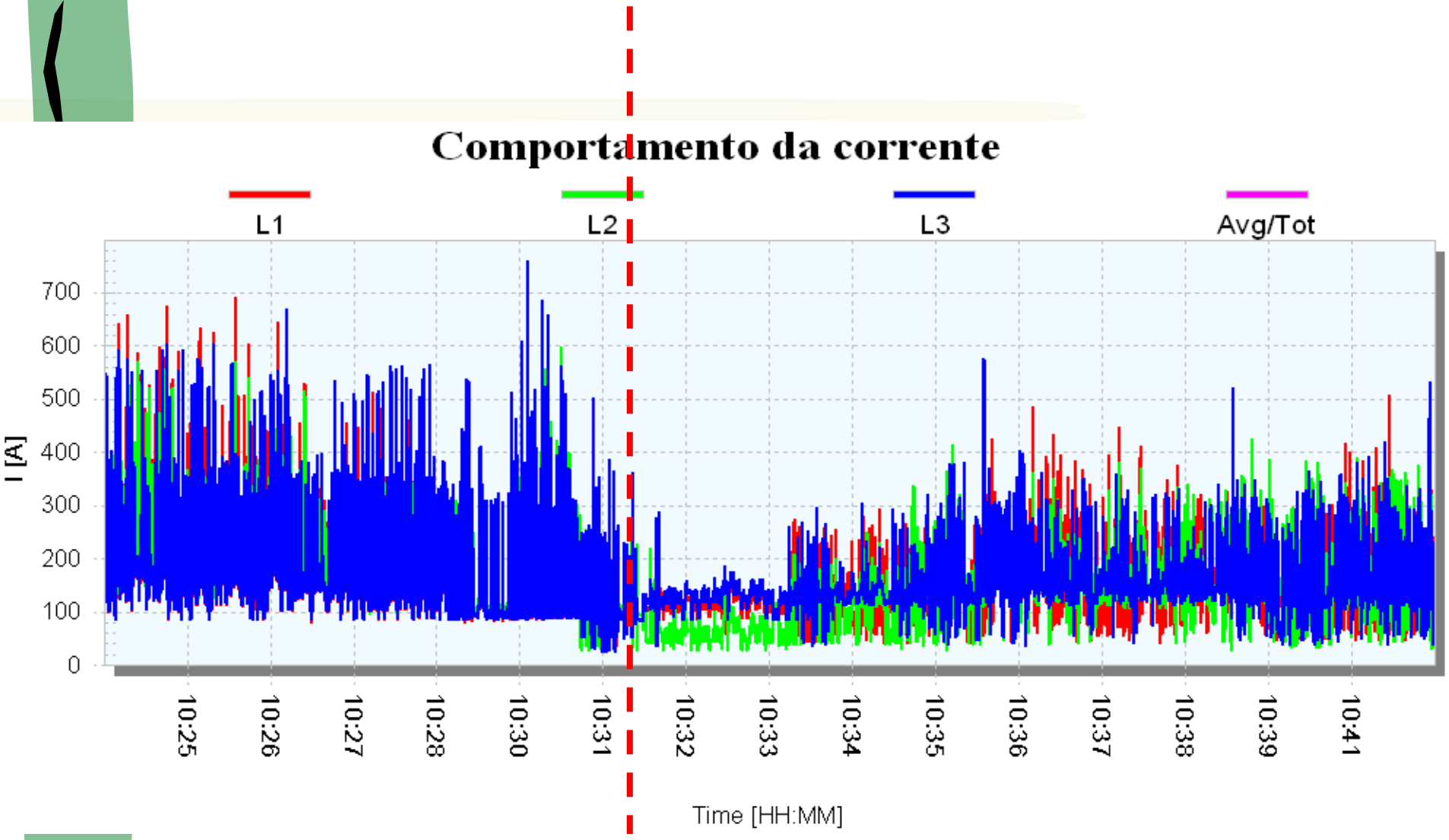


Tempos extremamente curtos

Sensível melhora da regulação de tensão



Sensível redução da corrente elétrica



That´s All