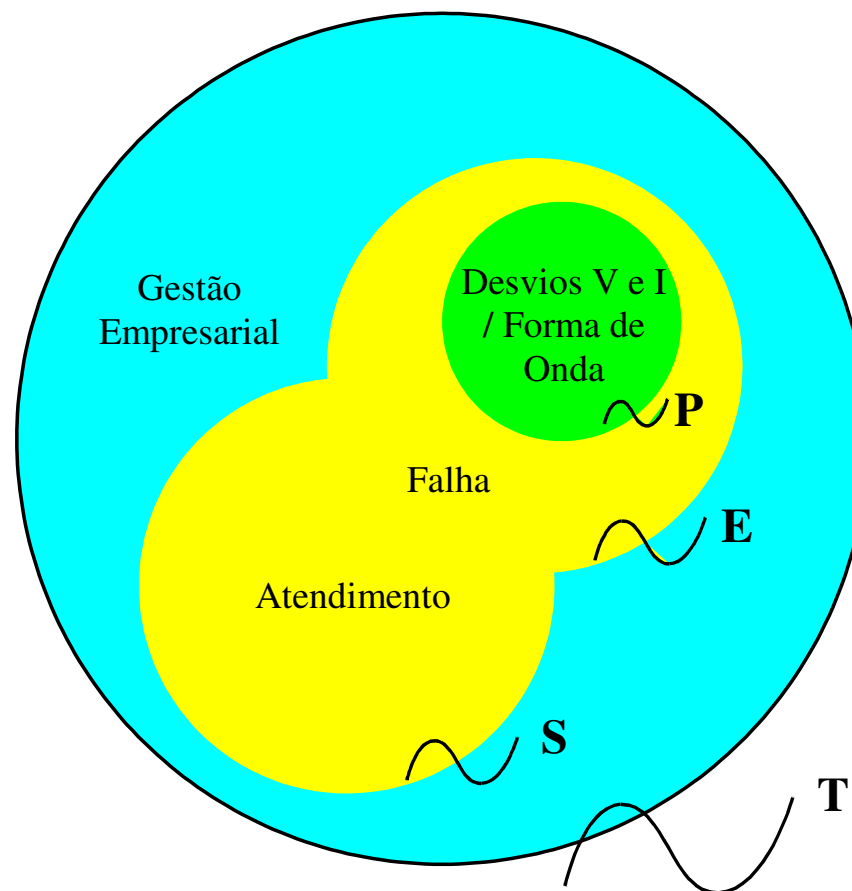
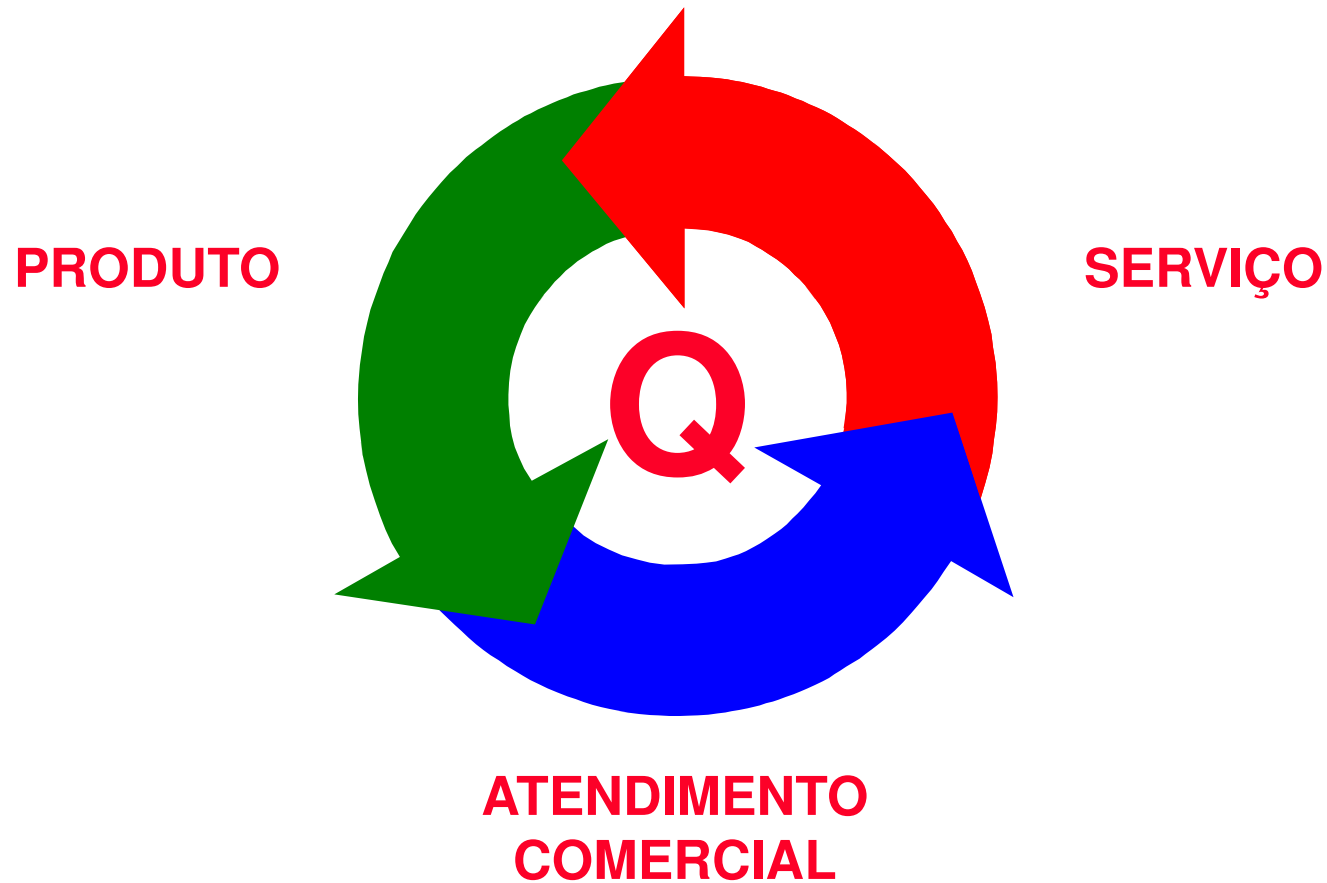


Qualidade de Energia em uma Empresa Distribuidora



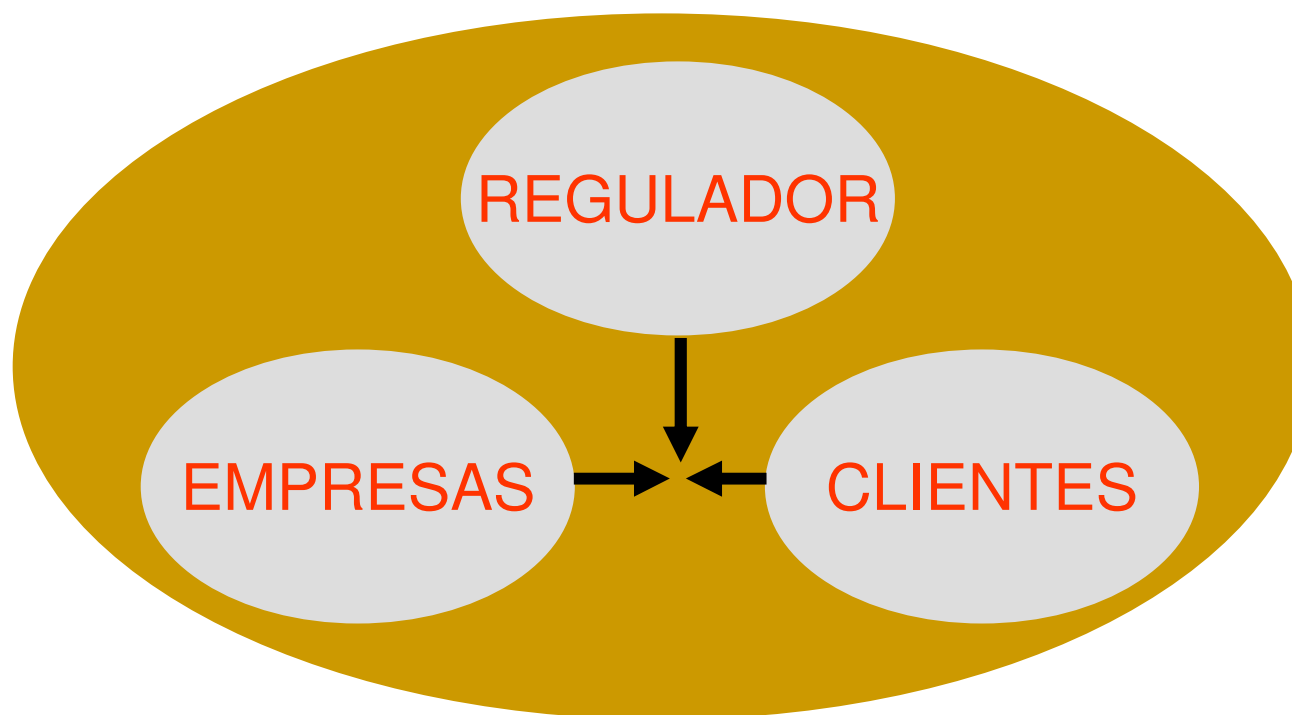
Qualidade de Energia



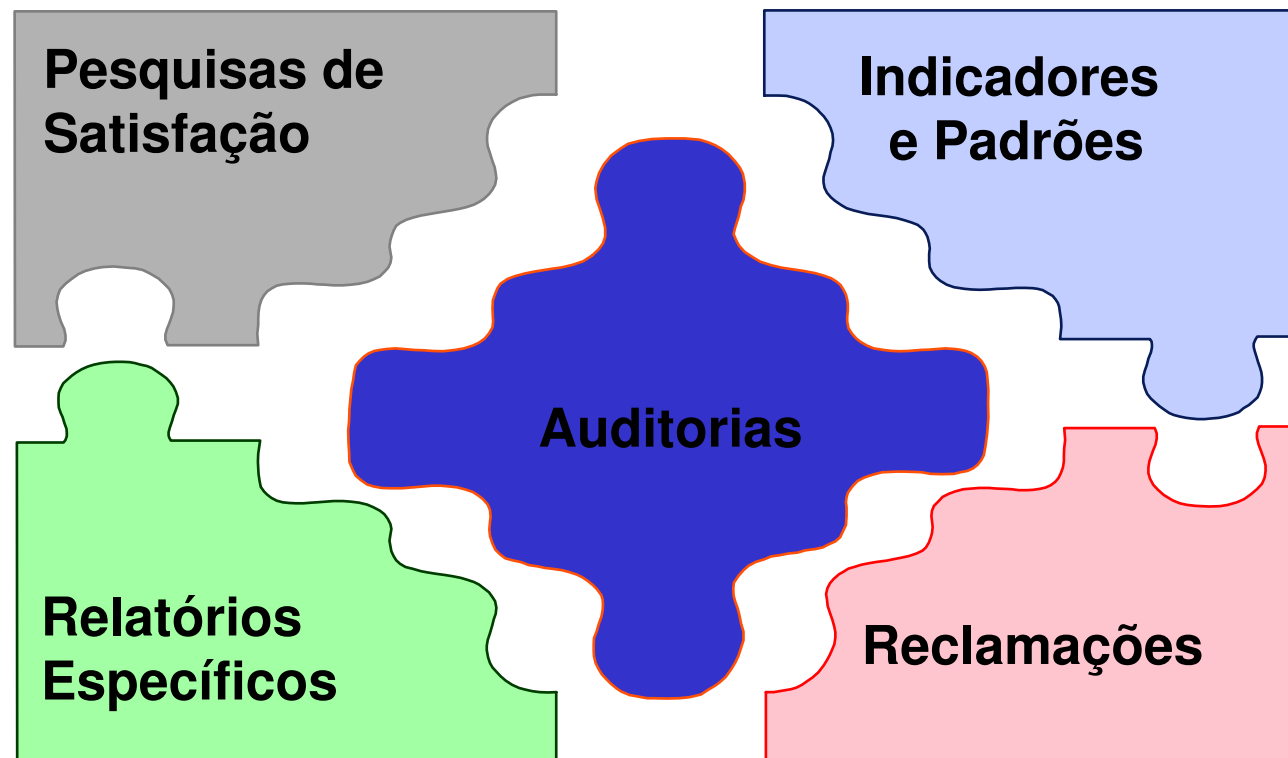
Visão da Qualidade

- Qualidade do Serviço
- Qualidade do Produto
- Qualidade do Atendimento

O Momento Atual



Instrumentos de Avaliação da Qualidade - Órgão Regulador



Qualidade do Produto

PRINCIPAIS FENÔMENOS:

- Variações de Tensão
- Transitórios
- Desequilíbrios de Tensão
- Harmônicas
- Flutuações de Tensão

Fenômenos na Qualidade de Energia

Variações de Curta e Longa Duração



CATEGORIA	DURAÇÃO TÍPICA	MAGNITUDE TÍPICA TENSÃO (PU)
Variações de Curta Duração		
. Instantâneas		
Depressões (1)	0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
Elevações (2)	0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
. Momentâneas		
Interrupções	0.5 ciclos - 3 s	< 0.1 pu
Depressões	30 ciclos - 3 s	0.1 - 0.9 pu
Elevações	30 ciclos - 3 s	1.1 - 1.4 pu
. Temporárias		
Interrupções	3 s - 1 min	< 0.1 pu
Depressões	3 s - 1 min	0.1 - 0.9 pu
Elevações	3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu
Variações de Longa Duração		
. Interrupções Sustentadas	> 1 min	0.0 pu
. Subtensões	> 1 min	0.8 - 0.9 pu
. Sobretensões	> 1 min	1.1 - 1.2 pu

Fenômenos Tratados na Qualidade de Energia



CATEGORIA	ESPECTRO TÍPICO	DURAÇÃO TÍPICA	MAGNITUDE TÍPICA TENSÃO (PU)
- Desequilíbrios de Tensão		Regime Permanente	0.5 - 2 %
- Distorção da Onda			
. Componente CC		Regime Permanente	0.0 - 0.1 %
. Harmônicas	0 - 100 ^a H	Regime Permanente	0.0 - 20.0 %
. Interharmônicas	0 - 6 kHz	Regime Permanente	0.0 - 2.0 %
. Notching		Regime Permanente	
. Ruído		Regime Permanente	0.0 - 1.0 %
- Flutuação de Tensão	< 25 kHz	Intermitente	0.1 - 7.0 %
- Variação da Frequência		< 10 s	

Fenômenos Transitórios na Qualidade de Energia

CATEGORIA	ESPECTRO TÍPICO	DURAÇÃO TÍPICA	MAGNITUDE TÍPICA TENSÃO (PU)
. Tipo Impulsivo			
Nanosegundos	Frente de 5 ns	< 50 ns	
Microsegundos	Frente de 1 μ s	50 ns - 1 ms	
Milisegundos	Frente de 0.1 ms	> 1 ms	
. Tipo Oscilatório			
Baixa Frequência	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
Média Frequência	5 - 500 kHz	20 μ s	0 - 8 pu
Alta Frequência	0.5 - 5 MHz	5 μ s	0 - 4 pu

Cargas Poluidoras e Cargas Sensíveis



- Padrão Ideal:

- tensão senoidal (THD)
- simétrica (FAD)
- 60Hz (Δf)
- valor eficaz nominal (ΔV)
- continuidade (DEC, FEC)
- sem fenômenos transitórios

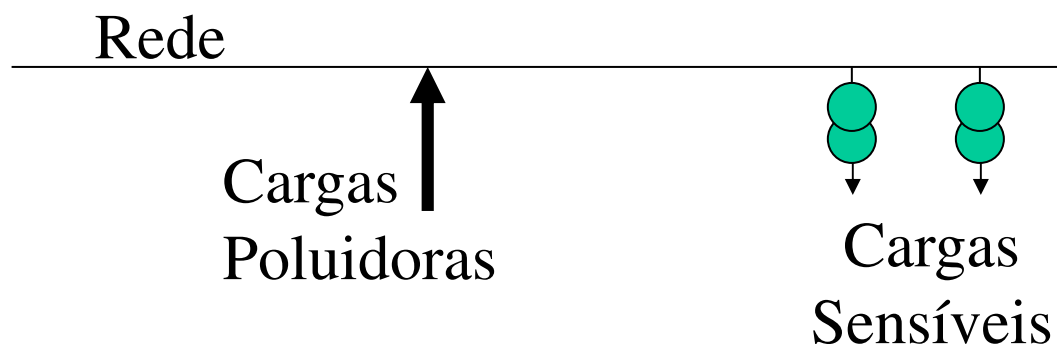
- Energia Limpa:

- $THD \leq 5\%$
- $FAD \leq 2\%$
- $\Delta f \leq 0,1\text{Hz}$
- ΔV - portaria
- DEC, FEC - resolução
- SAGs, Flicker, etc.

Cargas Poluidoras e Cargas Sensíveis



- A principal dificuldade para manter o padrão advém das cargas poluidoras
- A principal necessidade advém das cargas sensíveis



Principais Cargas Poluidoras

- Conversores (Harm.,Deseq.)
- Fornos de indução (Harm.,Deseq.)
- Fornos a arco (Harm.,Deseq.,Flicker)
- Dimers (Harmônicos)
- PCs (Harmônicos)
- PLCs (Harmônicos)

Principais Cargas Sensíveis

- Conversores (sensibilidade média a harmônicos e desequilíbrios)
- PLCs (sensibilidade média a harmônicos e alta a sags)
- Motores (sensibilidade média a harmônicos e alta a desequilíbrios)
- Iluminação (sensibilidade alta a flicker)

Variações de Curta Duração

- Segundo o IEEE, tais fenômenos englobam tempos desde 0.5 ciclo até 1 minuto.
- “sag”: redução (depressão, afundamento) a tensões compreendidas entre 0.1 e 0.9 pu. (redução a tensões inferiores a 0.1 pu, o fenômeno é classificado como interrupção de curta duração).
- “swell” elevações (saliências) de tensão de curta duração a níveis acima de 1.1 pu.

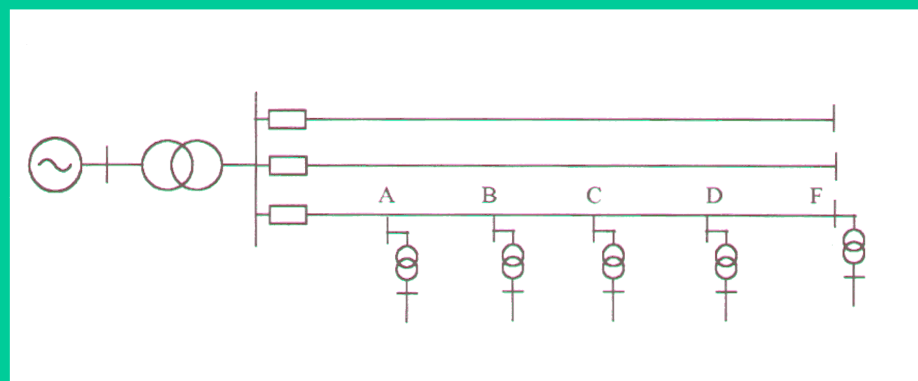
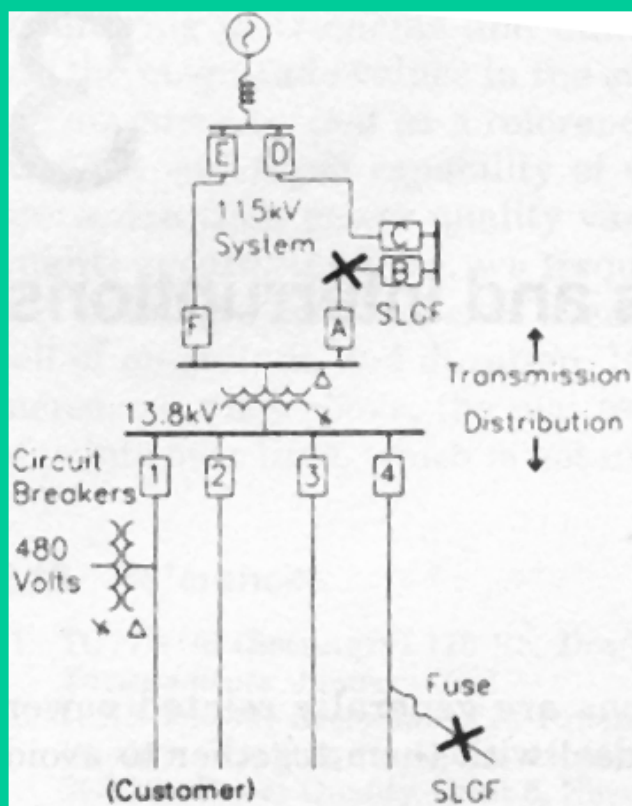
Causas Principais de Sags



- Ocorrência de faltas na rede elétrica (caráter aleatório)
 - Nos defeitos mais frequentes (fase-terra), há o surgimento de um transitório de curtíssima duração (alguns ciclos, no máximo), com redução da tensão na fase defeituosa e, geralmente, elevação de tensão nas fases sãs. Verifica-se este comportamento não só no alimentador onde se dá o defeito, mas pelo menos em todos aqueles alimentados pela mesma subestação supridora, perdurando até que seja acionada a proteção da rede.

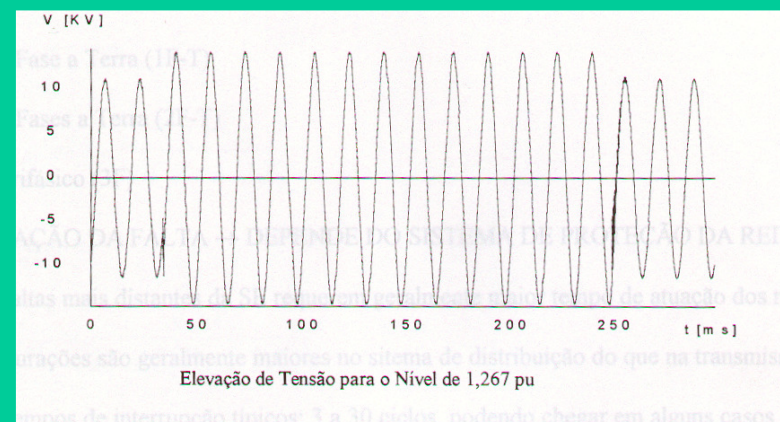
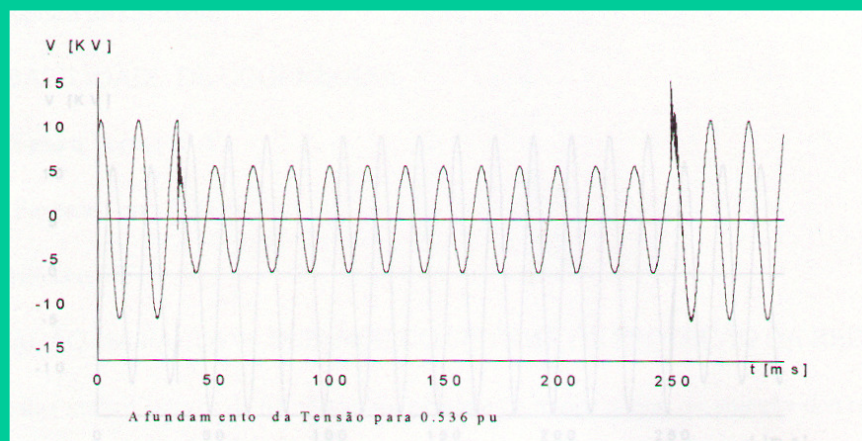
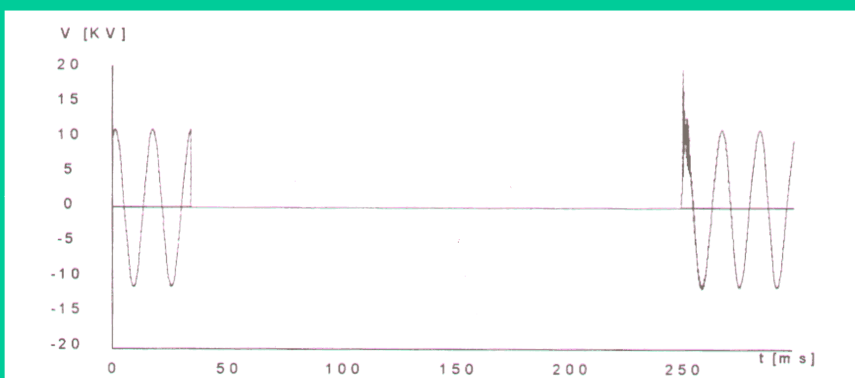
Fenômenos na Qualidade de Energia

Variações de Curta e Longa Duração



Fenômenos na Qualidade de Energia

Variações de Curta e Longa Duração



Desequilíbrio de Tensão

- Desequilíbrios em sistemas trifásicos ocorrem sempre que as tensões ou correntes de fase diferem em amplitudes e/ou ângulos. Normalmente o desequilíbrio em tensão é de aspecto mais relevante.
- Em geral, o desequilíbrio é dado pela relação entre a componente de tensão de seqüência negativa e a componente de seqüência positiva.
- Alguns autores relacionam também o desequilíbrio de seqüência zero, que é a relação entre a componente de seqüência zero e a de seqüência positiva

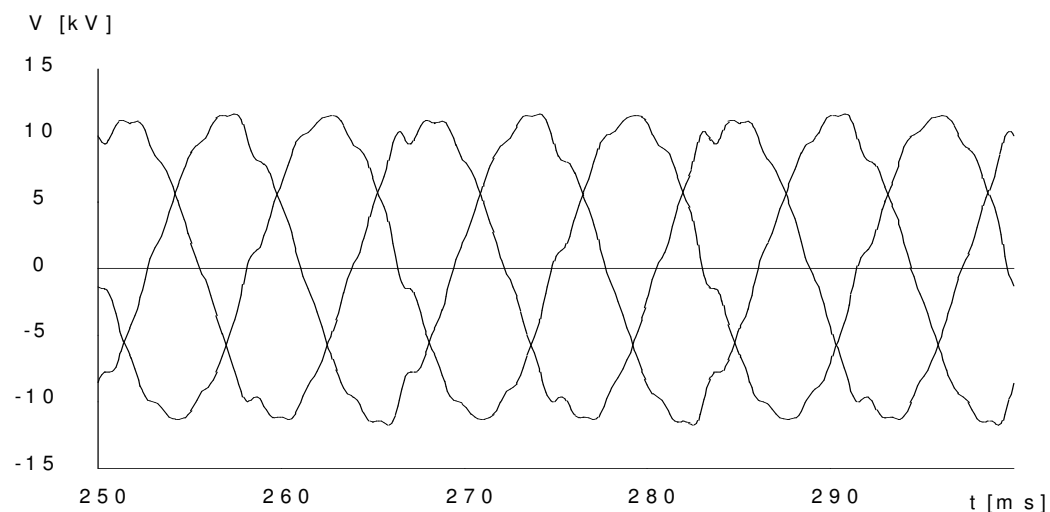
Desequilíbrio de Tensão

- Causa predominante: cargas monofásicas.
 - Concessionárias de energia se preocupam com o balanceamento das demandas no nível da rede primária de Distribuição. Caberia ao próprio consumidor de baixa tensão equilibrar a sua carga individual, o que nem sempre é realizado a contento.
- A própria rede primária aérea de distribuição apresenta um certo desequilíbrio intrínseco uma vez que não há transposição das fases neste nível de tensões.

Distorções Harmônicas

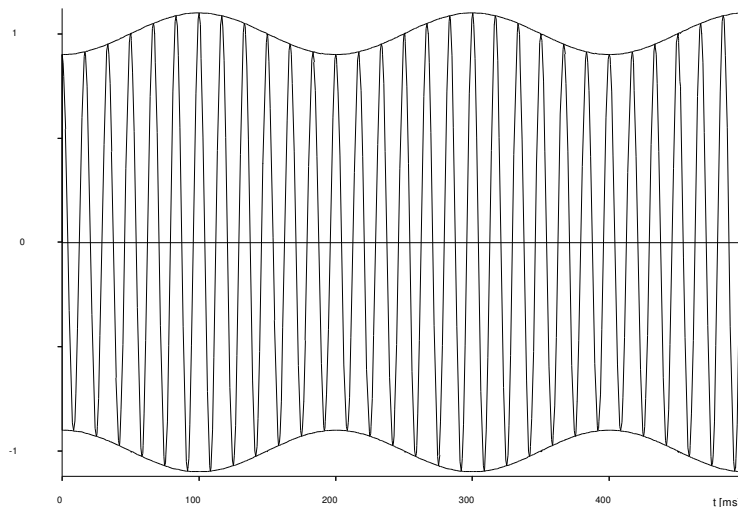
- Um dos primeiros a ser estudado, em decorrência da instalação, cada vez mais freqüente, de cargas não lineares (eletrônica de potência) na rede elétrica.
- Harmônicas são correntes ou tensões senoidais múltiplas da freqüência fundamental do sistema elétrico supridor (60 Hz).
- Correntes harmônicas propagando-se pelo sistema produzem quedas de tensão harmônicas através das impedâncias do mesmo e no caso em que estas impedâncias apresentem ressonância na freqüência da corrente, podem resultar sobretensões ressonantes muito elevadas.

Exemplo de Distorção Harmônica de Tensão

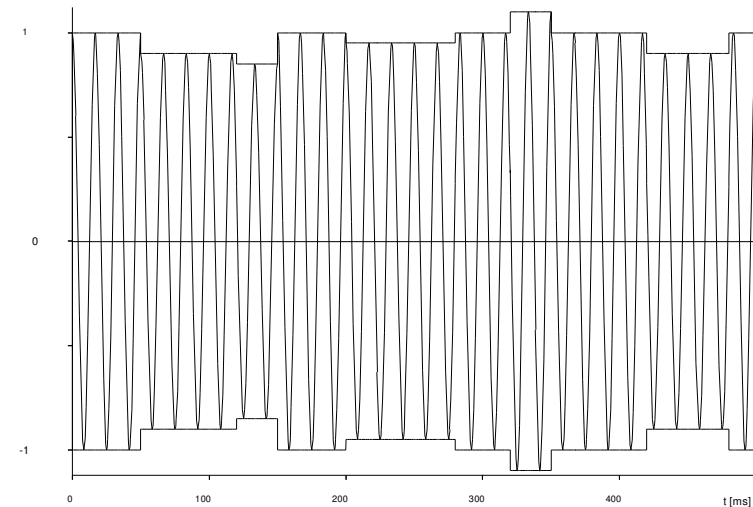


Flutuação de Tensão

- Variação cíclica da envoltória da tensão ou uma série de variações aleatórias da tensão, com magnitude que normalmente não excedem uma faixa da ordem de $\pm 10\%$ da tensão normal

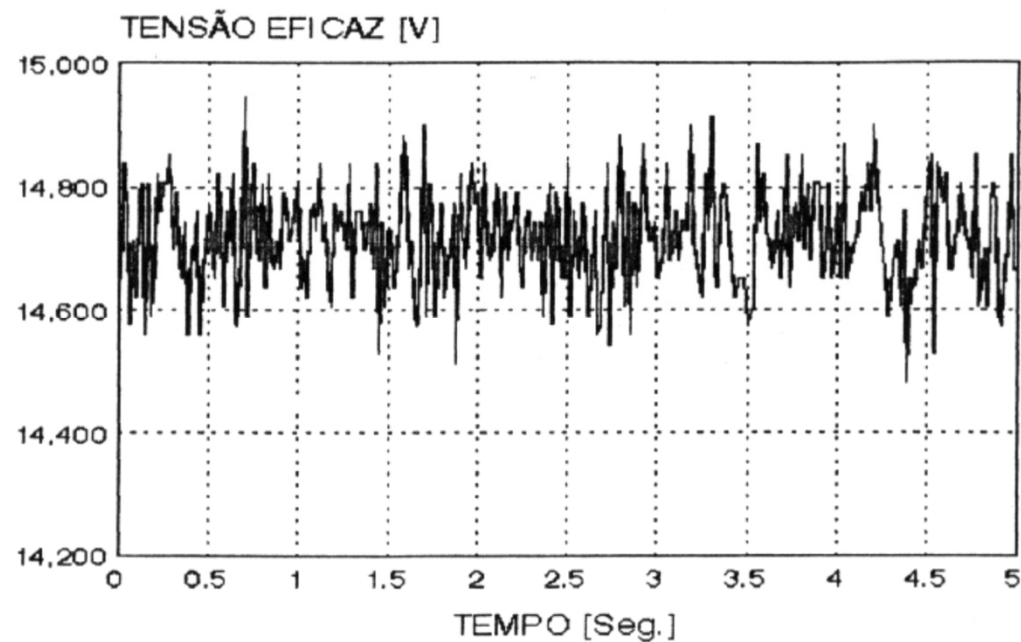


flutuação de tensão senoidal



flutuação de tensão em degraus

Exemplos de Flutuação de Tensão



Comportamento da tensão de suprimento de um forno a arco - Barra de 14.4 kV

Qualidade de Serviço

indicadores para a qualidade do serviço:

- **DEC** Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor
- **DEP** Duração Equivalente de Interrupção por Potência
- **DIC** Duração de Interrupção Individual
- **FEC** Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor
- **FEP** Frequência Equivalente de Interrupção por Potência
- **FIC** Frequência de Interrupção Individual
- TA** Tempo de Atendimento
- TMA** Tempo Médio de Atendimento
- TX%** Tempo X% de Atendimento
- FMA** Frequência Média de Ocorrências



Já existentes



Não formalizados



Novos

Qualidade de Serviço

conceituação dos indicadores novos ou ainda não formalizados, para a qualidade do serviço:

TA - Tempo de atendimento

$TMA = \Sigma TA / \text{número de ocorrências}$

TX% = Tempo de atendimento não superado em X% do total de ocorrências

$FMA = \text{número de ocorrências} \times 10.000 / \text{número de consumidores}$

Qualidade de Serviço

Exemplo de padrões para qualidade de serviço

- DIC e FIC:**

Consumidores individuais	DIC		FIC	
	Anual	Mensal	Anual	Mensal
Sistema subterrâneo	-	-	-	-
Alta Tensão	10	4	8	3
Média Tensão - Urbano	40	16	30	8
Baixa Tensão - Urbano	70	28	40	12
Área Rural	120	48	80	24

Qualidade de Produto regulação



- **Amplitude da Tensão: já regulamentado**
- **Variação de tensão: já regulamentado**
- **Outros indicadores e padrões a serem introduzidos:**
 - **Variação temporária de frequência**
 - **Conteúdo harmônico**
 - **Interrupção de curta duração**
 - **Flutuação de tensão**
 - **Desequilíbrio de tensão**