



# Aula 03 – SEL0409

## Qualidade da energia elétrica

Prof. Assoc. Mário Oleskovicz

USP/EESC/SEL

# *Qualidade da Energia Elétrica*

- **Agenda**

- **Fenômenos de interesse:**

- **VTCD - Variações de Tensão de Curta Duração**

# *Qualidade da Energia Elétrica*

- Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD)
- Curvas CBEMA e ITIC
- Área de vulnerabilidade



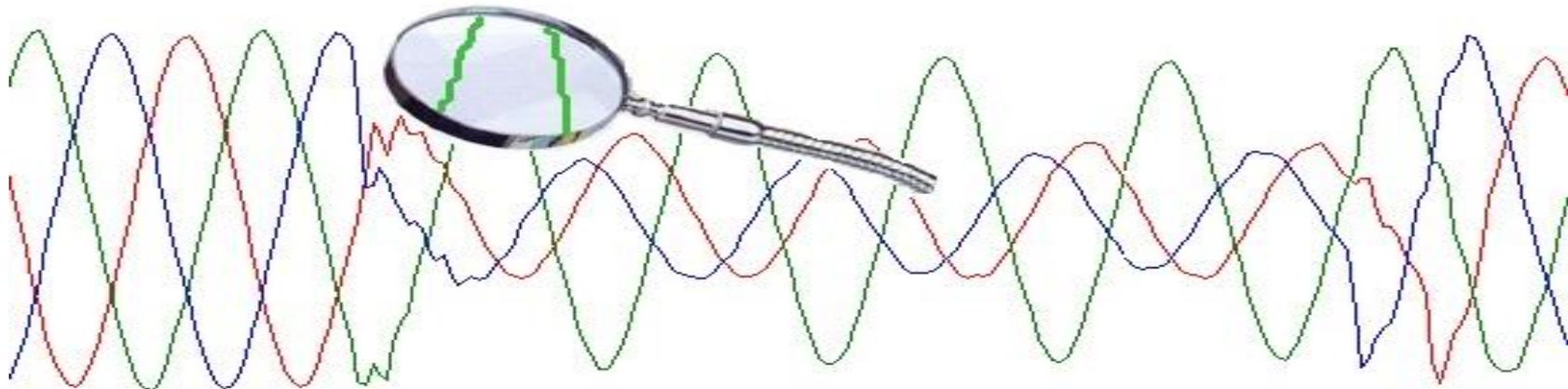
# *Qualidade da Energia Elétrica*

## Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD)

- ✓ Dependendo da sua duração, podem ser designadas como:
  - instantâneas (0,5 – 30 ciclos);
  - momentâneas (30 ciclos – 3 s) e
  - temporárias (3 s – 1 min).
  
- ✓ São causadas por:
  - condições de defeitos (curtos-circuitos);
  - partida ou parada de grandes cargas ou
  - falhas de equipamentos.

# Qualidade da Energia Elétrica

- ✓ **Localização do defeito + condições do sistema = afundamento (sag) ou uma elevação (swell), ou ainda, a completa perda da tensão (interrupção - interruption).**
- ✓ A condição de defeito pode estar próxima ou longe do ponto de interesse.

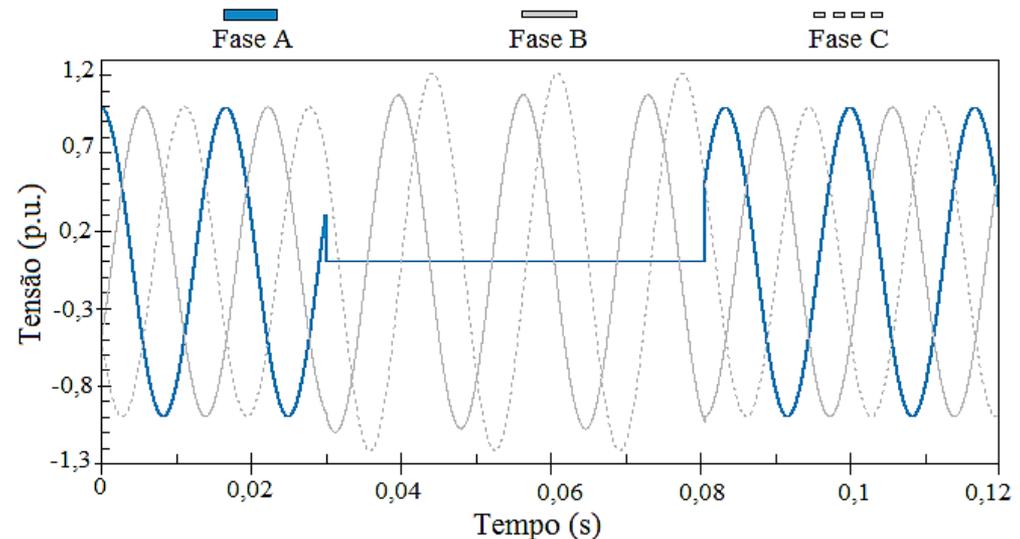


# Qualidade da Energia Elétrica

## ✓ Interrupção (Interruption)

Uma interrupção ocorre quando o fornecimento de tensão decresce para um **valor menor do que 0,1 p.u.** (ou seja, com *tensão remanescente/residual* entre 0 e 0,1 p.u.) por um período de **tempo que não excede 1 min.**

Podem ser resultantes de defeitos no sistema de energia, falhas nos equipamentos e/ou mal funcionamento dos sistemas de controle.

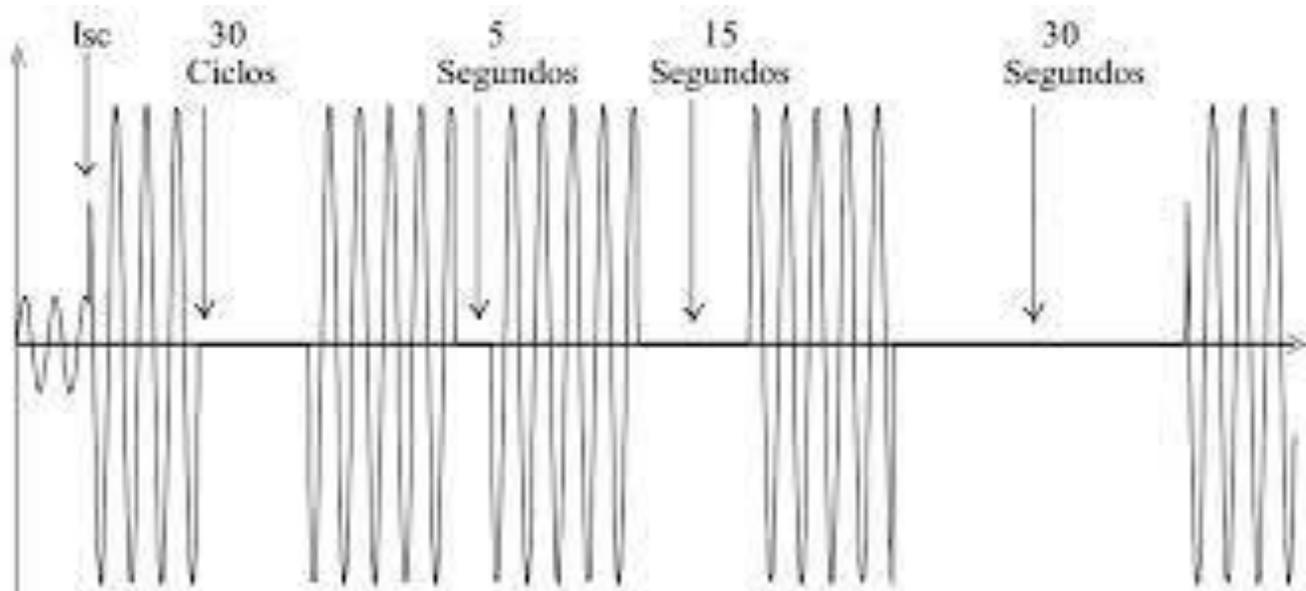


Uma interrupção de tensão causada pela ocorrência de um curto-circuito FT.

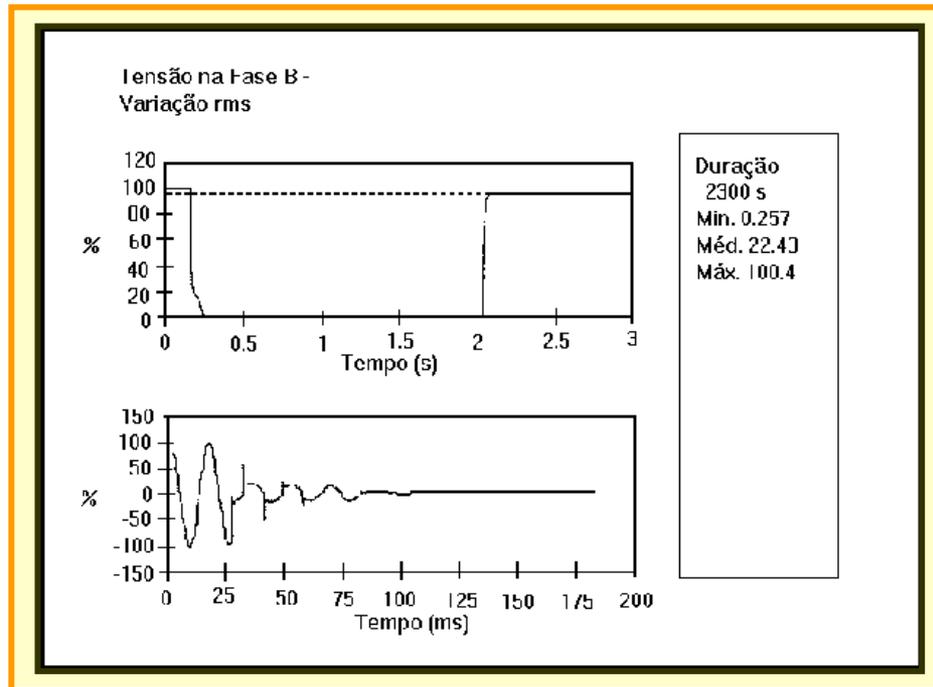
# Qualidade da Energia Elétrica

## ✓ Interrupção (Interruption)

A sequência de operação de um religador causando **uma interrupção instantânea** e **três temporárias**. Mas qual foi a origem destes eventos?



# Qualidade da Energia Elétrica



- ✓ Interrupção momentânea devido a um curto-circuito, sendo precedida por um afundamento de tensão.

# Qualidade da Energia Elétrica

- ✓ Valor RMS (*root mean square*): o **valor quadrático médio** (raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos valores), ou **valor eficaz**, é uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável.

$$\text{Valor eficaz} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt}$$

- ❖ Onde  $x(t)$  é o sinal variável no tempo e  $T$  o período do sinal.

# Qualidade da Energia Elétrica

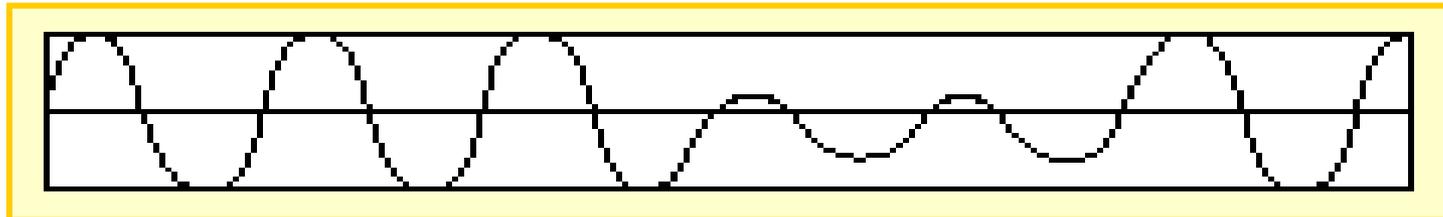
- ✓ **Curto-circuito** com caráter **temporário**: o equipamento de proteção não completará a sequência de operações programadas.
  - ❖ Cargas sensíveis, como por exemplo, computadores e outras cargas eletrônicas, estarão sujeitas às interrupções.
  - ❖ **75% dos curtos-circuitos (defeitos) em redes aéreas são de natureza temporária/transitória.**



# Qualidade da Energia Elétrica

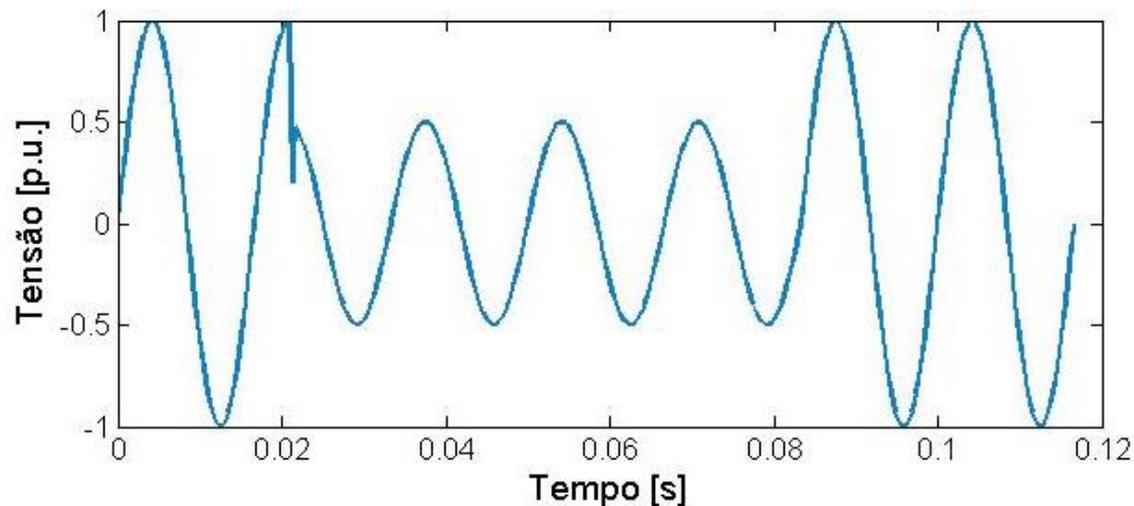
## ✓ Afundamento de tensão (*Voltage Sag*)

**Localização do defeito + condições do sistema = o defeito pode causar um afundamento com tensão remanescente de **10 - 90%** no valor eficaz da tensão do sistema (tempo de permanência: período de **meio ciclo até 1 min**).**



# Qualidade da Energia Elétrica

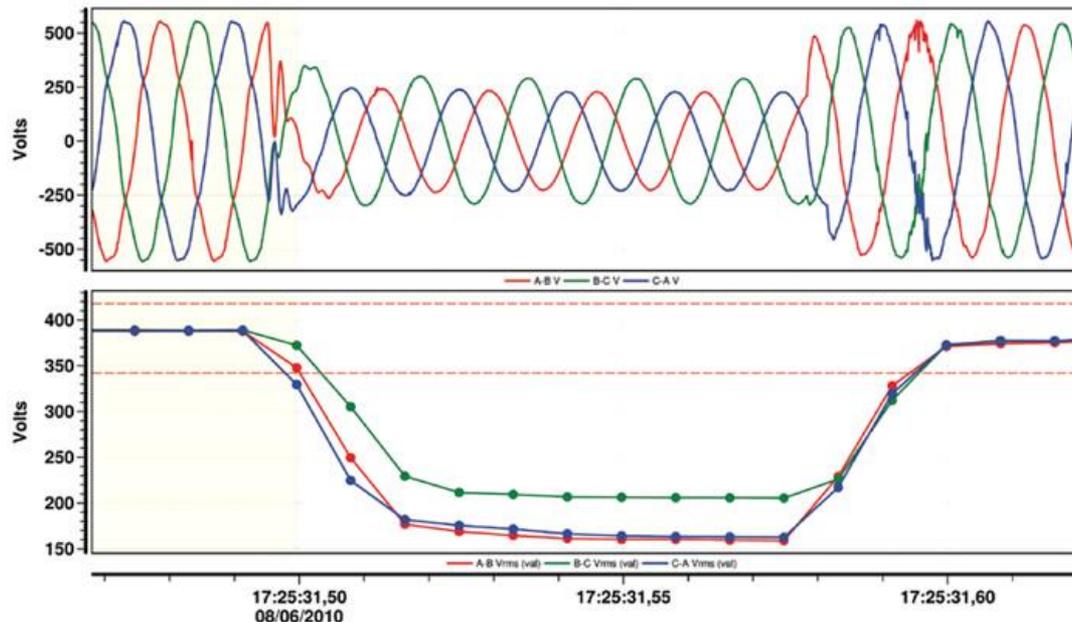
- ✓ Afundamentos de tensão são usualmente associados a:
  - defeitos no sistema;
  - energização de grandes blocos de cargas;
  - entre outros.



# Qualidade da Energia Elétrica

- ✓ A evolução da tecnologia e da automatização de processos inseriu, na maioria das plantas industriais, um grande leque de **equipamentos sensíveis ao Afundamento Momentâneo de Tensão (AMT)**. Mesmo que este seja de **apenas alguns milissegundos**, pode interromper processos produtivos inteiros, causando enormes prejuízos.

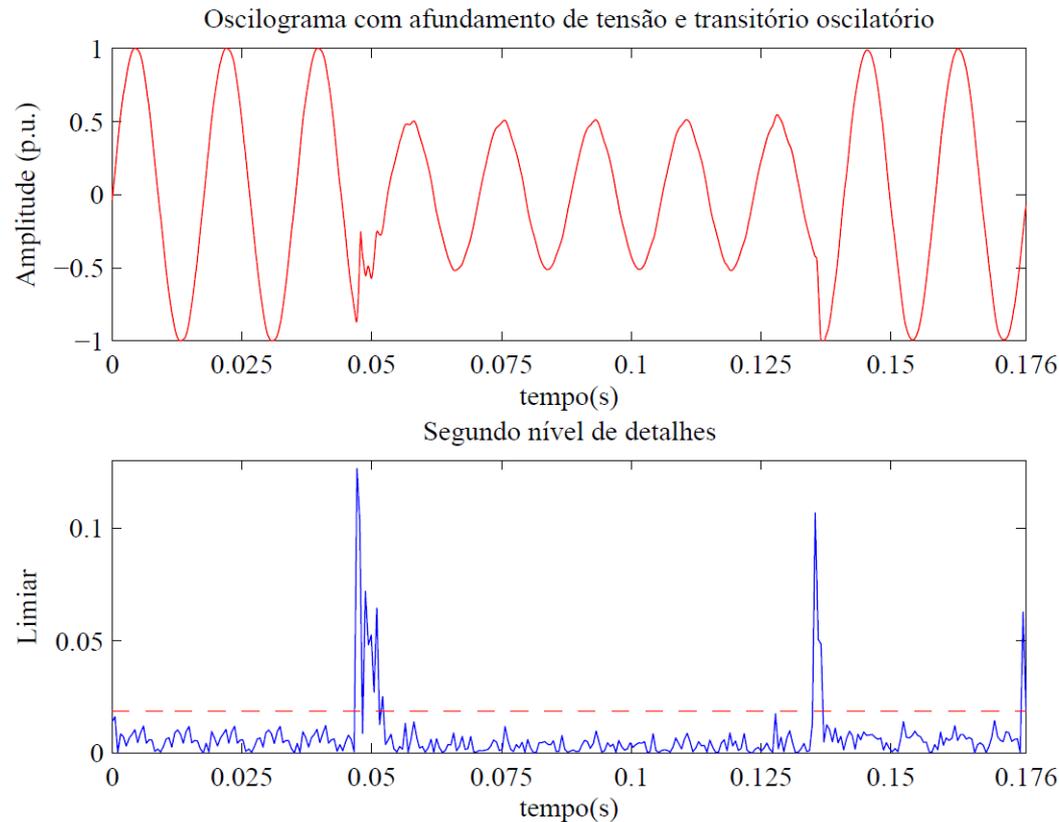
Afundamento de tensão durante curto-circuito na rede de distribuição



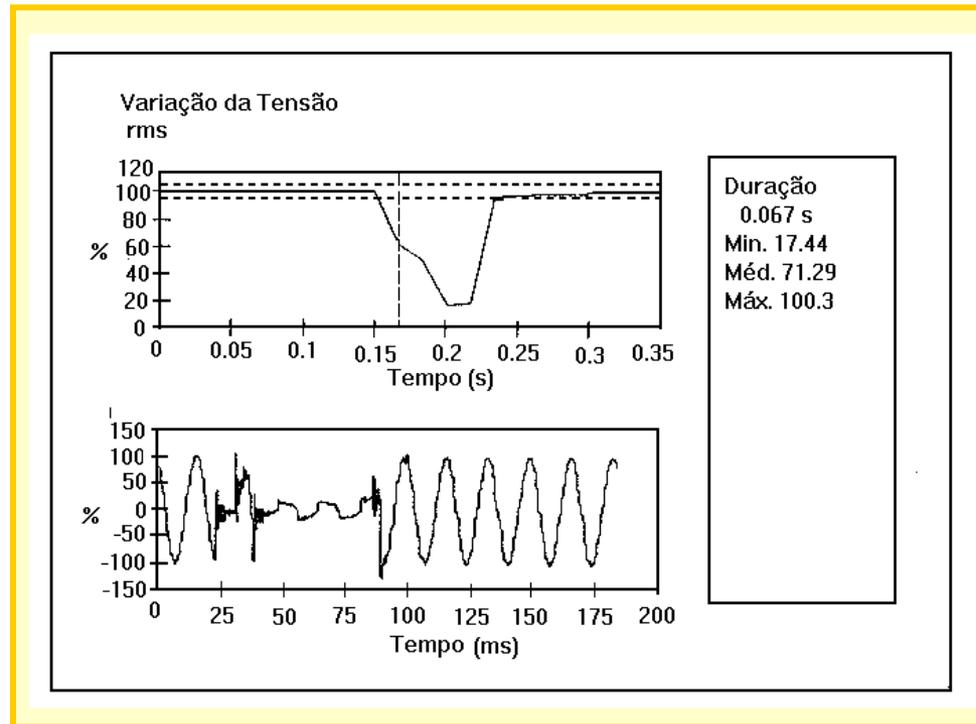
Afundamento  
          ? de tensão!

# Qualidade da Energia Elétrica

✓ As características e o número de afundamentos diante de uma determinada falta dependem de vários fatores como: a **natureza do defeito**, sua **posição relativa** a outros consumidores ligados na rede e o **tipo de filosofia de proteção** adotada no sistema.

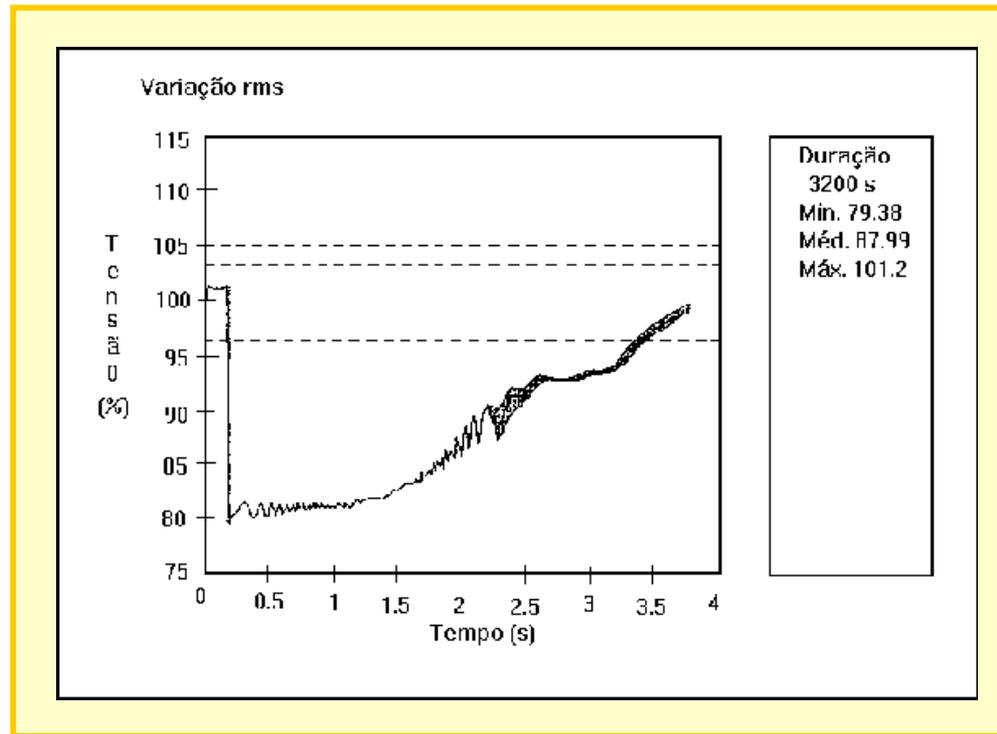


# Qualidade da Energia Elétrica



- ✓ Afundamento de tensão causado por um defeito fase-terra

# Qualidade da Energia Elétrica



Afundamento causado pela partida de um motor de indução

# Qualidade da Energia Elétrica

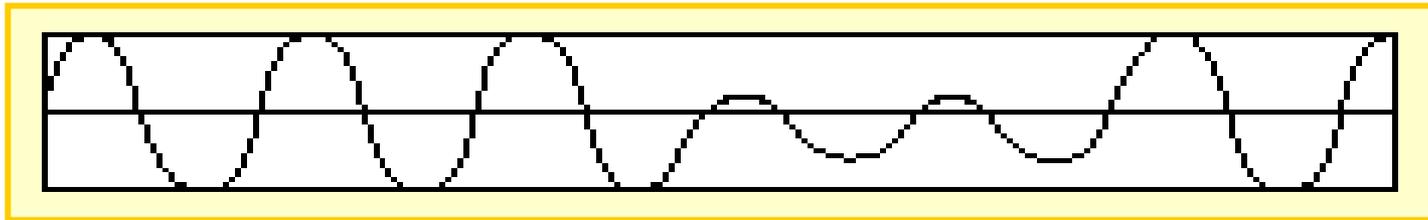
✓ Os efeitos dos afundamentos de tensão sobre equipamentos eletroeletrônicos normalmente utilizados nas indústrias manifestam-se sob a forma de:

- atuação da proteção contra **sub-tensão** do disjuntor de cabine de entrada, desligando a planta industrial inteira;
- perda da programação dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs);
- perda da programação dos microprocessadores;
- variação de velocidade dos acionamentos CA e CC (motor e carga mecânica) ou do torque do motor (CA e CC) que, dependendo do tipo de processo, pode comprometer a qualidade do produto ou provocar a parada da produção;
- desligamento de acionamentos devido à atuação de dispositivos associados à proteção que, quando detectam condições de risco, promovem o desligamento imediato da fonte de alimentação;
- falhas de comutação em pontes controladas, afetando o disparo dos gatilhos dos tiristores;
- desligamento de lâmpadas de descarga, como vapor de mercúrio, que levam alguns minutos para reacenderem; entre outros.

# Qualidade da Energia Elétrica



**87%** de todos os distúrbios observados em um sistema de energia.

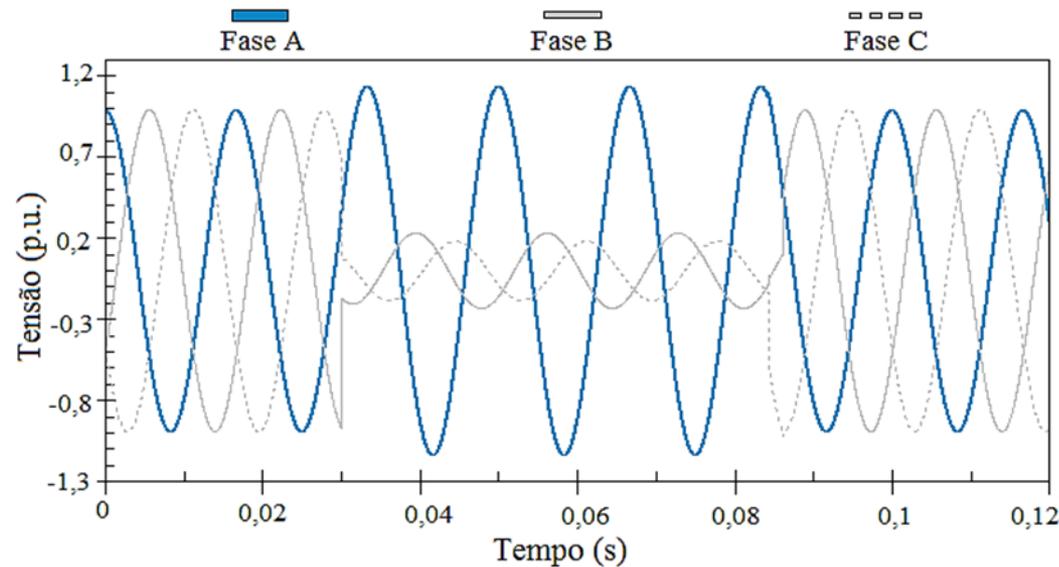


# Qualidade da Energia Elétrica

## ✓ Elevação de tensão (*Voltage Swell*)

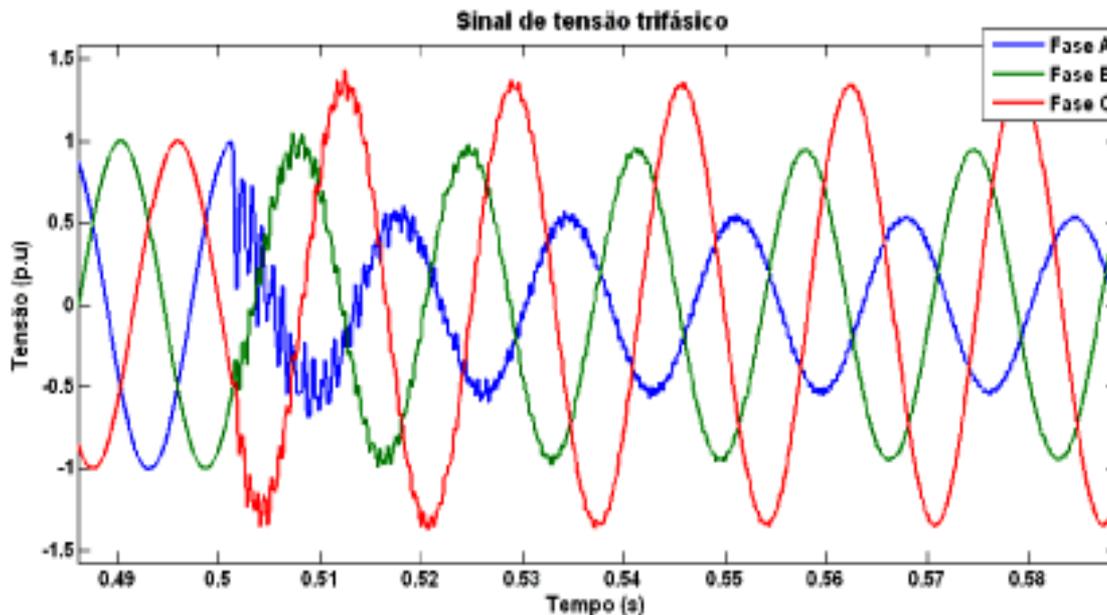
Pode ser caracterizado por um **aumento** no valor eficaz da tensão do sistema (**10-80%**), com duração de **meio ciclo a 1 min.**

Frequentemente ocorre nas **fases sãs** de um circuito trifásico, quando ocorre um curto-circuito em uma única fase.



# Qualidade da Energia Elétrica

✓ Usualmente está associado à:



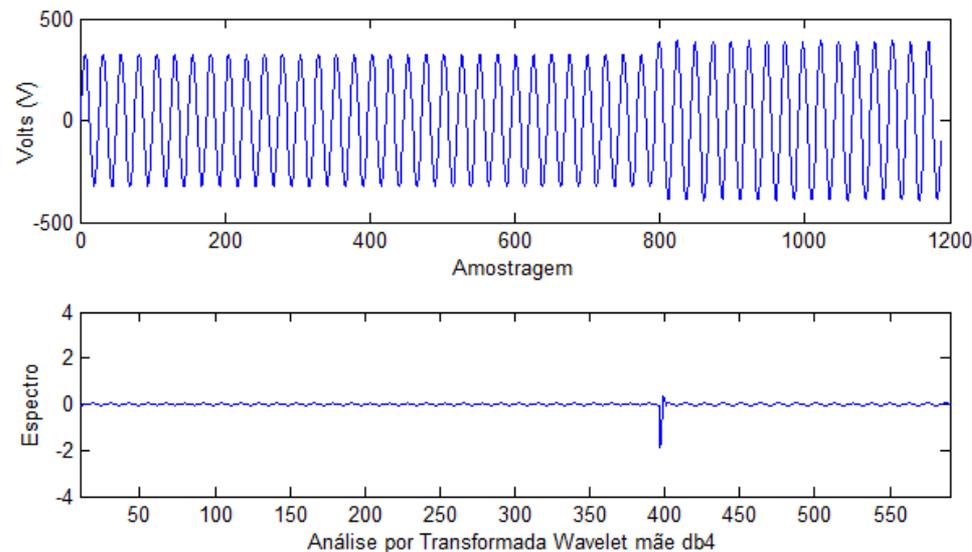
- condições de defeitos no sistema;

- saída de grandes blocos de cargas ou

- energização de grandes bancos de capacitores.

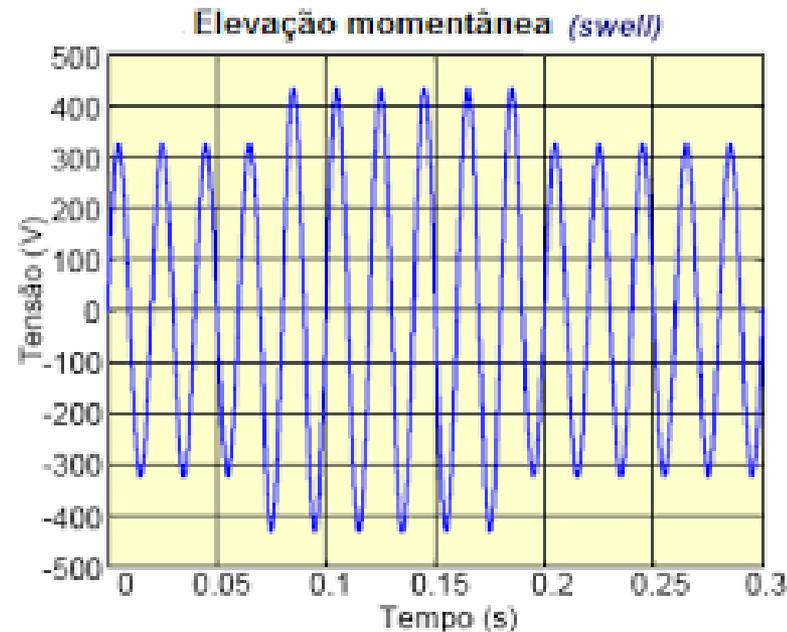
# Qualidade da Energia Elétrica

- ✓ Caracterizados pela sua **magnitude** e **duração**.
- ✓ A severidade deste distúrbio durante uma condição de defeito é uma função da **localização do defeito**, **impedância do sistema** e do **aterramento**.
- ✓ A sua **duração** está intimamente ligada aos ajustes dos **dispositivos de proteção**, à **natureza da falta** (temporária ou permanente) e à sua **localização** na rede elétrica.

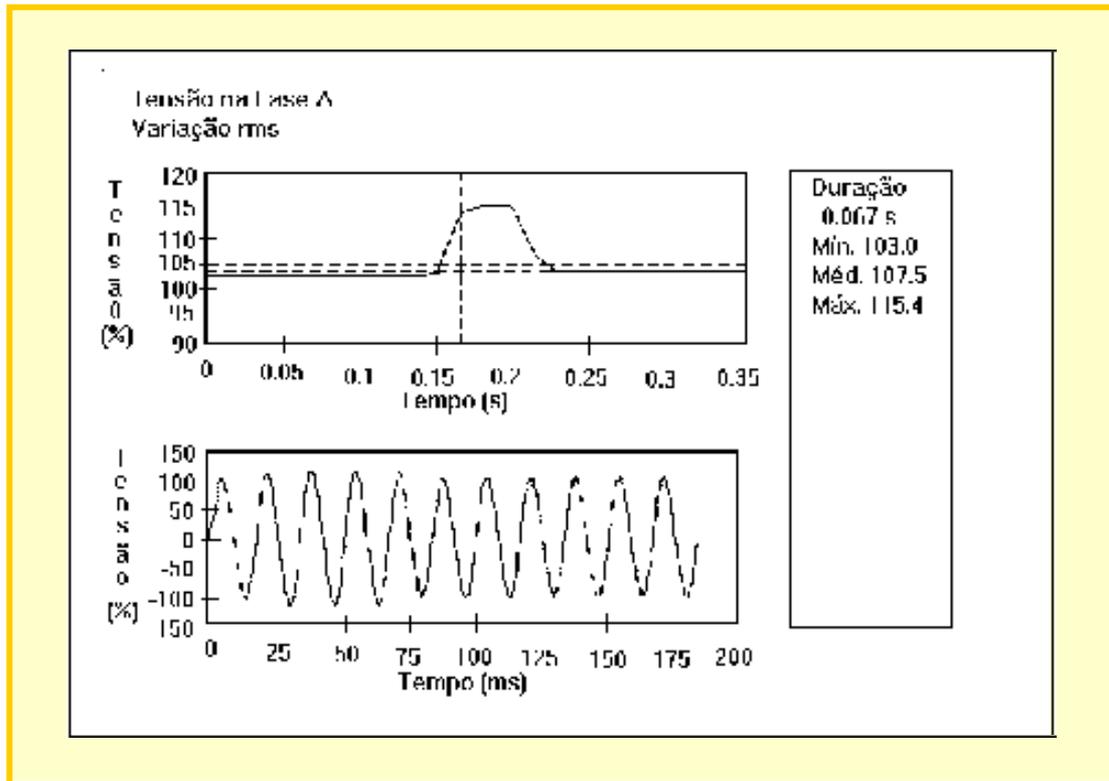


# Qualidade da Energia Elétrica

- ✓ Em situações de elevações oriundas de saídas de grandes cargas ou energização de grandes bancos de capacitores, a duração das elevações depende da resposta dos dispositivos reguladores de tensão das unidades geradoras, do tempo de resposta dos transformadores de “tap” variável e da atuação dos dispositivos compensadores.



# Qualidade da Energia Elétrica



- ✓ Elevação de tensão devido a uma falta fase-terra

# Qualidade da Energia Elétrica

✓ Consequência das elevações de tensão em equipamentos:



- falhas dos componentes dependendo da frequência (do número) de ocorrência do distúrbio; e
- falhas imediatas de dispositivos eletrônicos, entre

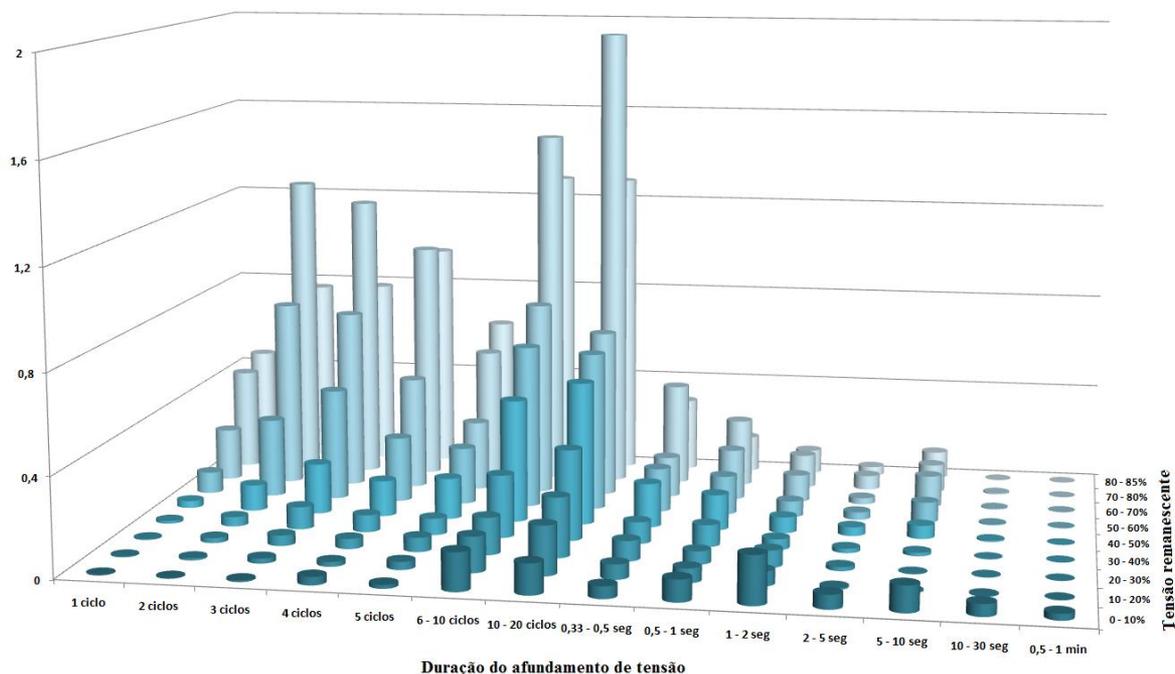
# Qualidade da Energia Elétrica



# Qualidade da Energia Elétrica

## Curvas CBEMA e ITIC

✓ 92% dos eventos são relacionados a afundamentos com tensão remanescente entre 50 e 90% (2s).



**Histograma da magnitude e duração dos afundamentos de tensão e interrupções (taxa anual).**

Fonte: Adaptado de EPRI (2003).

# Qualidade da Energia Elétrica

Um determinado equipamento pode ser submetido a distúrbios transitórios que não causem prejuízo a sua operação, desde que as durações destes distúrbios sejam muito pequenas e o equipamento possua aspectos construtivos que o tornem praticamente imunes a estes distúrbios.



# *Qualidade da Energia Elétrica*

A **robustez** de um equipamento pode ser definida, portanto, como a capacidade de se manter em operação na presença de alterações no fornecimento de energia além das quais foi projetado.

# *Qualidade da Energia Elétrica*

- ✓ Definir e caracterizar as curvas de tolerância de tensão empregadas como padrão industrial:
  - Curva **CBEMA**: *Computer and Business Equipment Manufactures Association (1970)*
  - **ITIC**: Information Technology Industry Council (1996)

# Qualidade da Energia Elétrica

- ✓ **Curvas de tolerância de tensão:** duração de tensão em um barramento em relação a um valor de referência:
  - Indicam a **tolerância de uma determinada carga** à ocorrência de **eventos de afundamento** e ou **elevação de tensão**.
- ✓ As regiões quantificam os **limites aceitáveis de operação** de um equipamento em uma determinada duração de distúrbio.

# Qualidade da Energia Elétrica

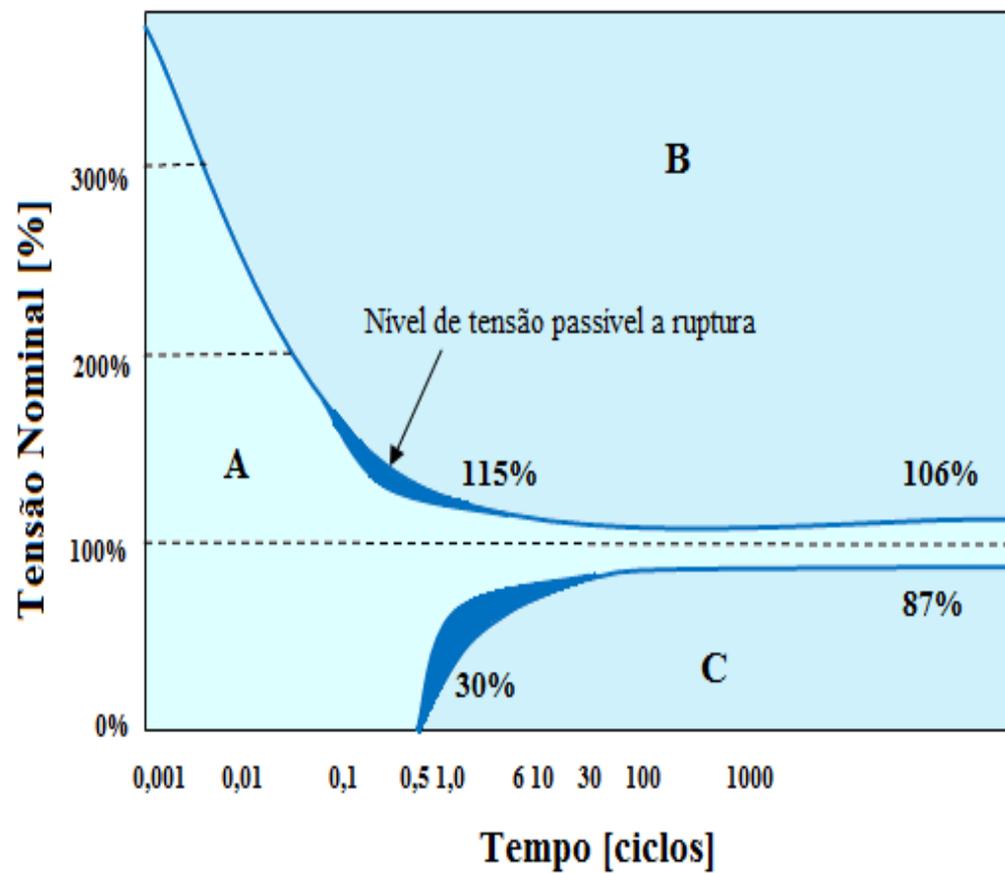
- ✓ CBEMA: Curva elaborada com base em dispositivos alimentados por uma **tensão nominal de 120V** e **frequência nominal de 60 Hz** (equipamentos eletrônicos e micro-processados em produção - 1970).
- ✓ Publicada na norma IEEE-446 de 1987.

Magnitude do  
distúrbio de tensão  
em relação ao  
valor nominal (100%)

X

Duração dos distúrbios  
(unidades de tempo ou  
em ciclos do sinal de  
tensão).

# Qualidade da Energia Elétrica

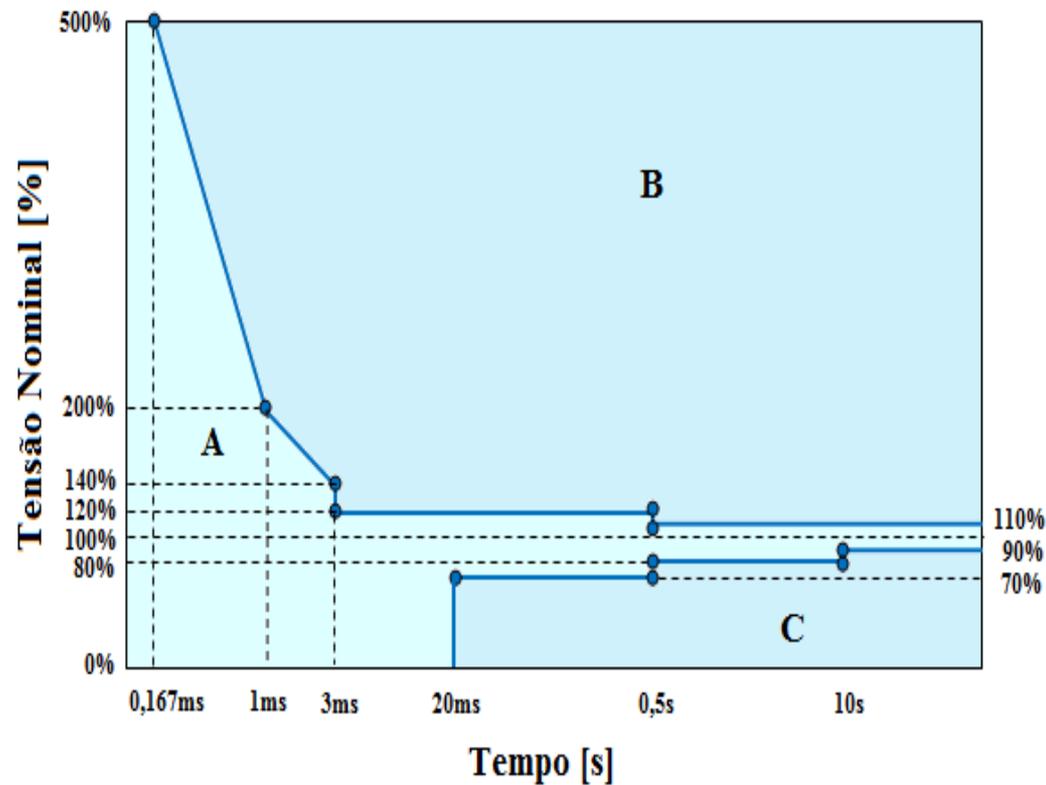


# *Qualidade da Energia Elétrica*

- ✓ **Região A – Região de imunidade:** os equipamentos não sofrem alteração em seu funcionamento para distúrbios de alimentação localizados nesta região.
- ✓ **Região B – Região de susceptibilidade:** operações nesta região apresentam possibilidade de ruptura da isolação dos equipamentos (danos permanentes aos componentes), devido à sobretensões transitórias e elevações de tensões.
- ✓ **Região C – Região de sensibilidade:** ocorre a possibilidade de falhas de operação dos equipamentos em virtude de afundamentos de tensão ou interrupções momentâneas.

# Qualidade da Energia Elétrica

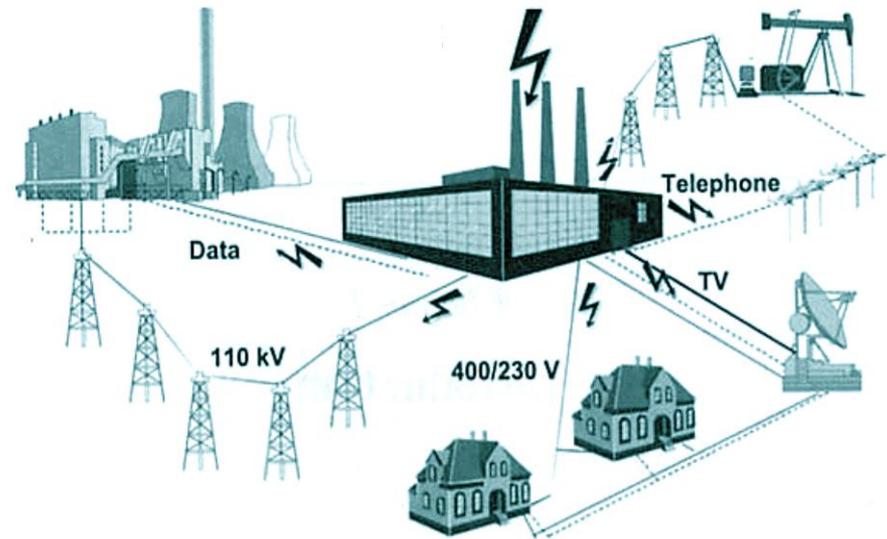
➤ **ITIC**: Information Technology Industry Council (2000)



# Qualidade da Energia Elétrica

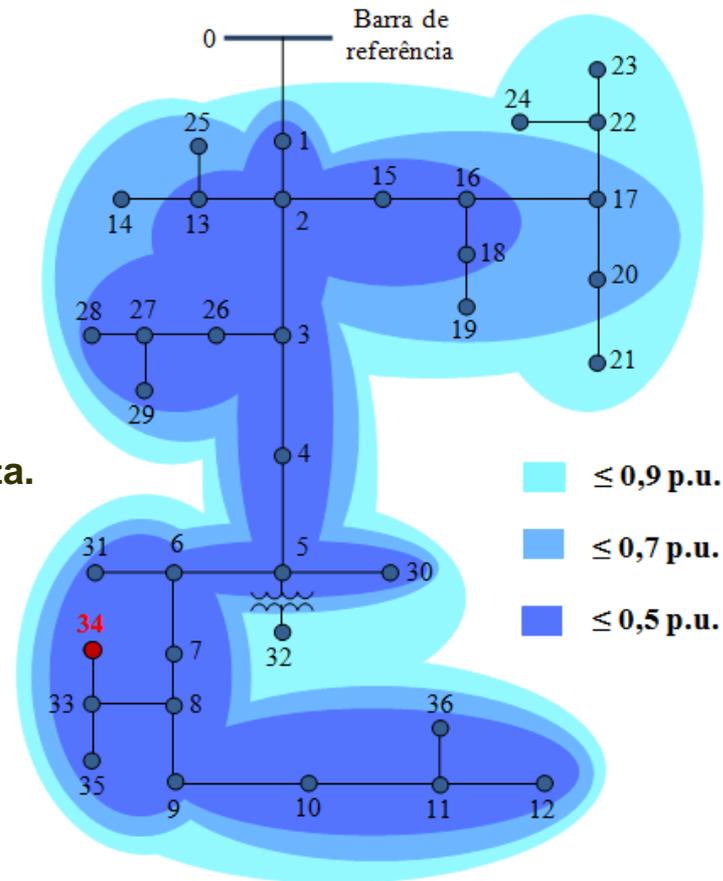
## Área de vulnerabilidade

- ✓ A ocorrência de um distúrbio ou falta em um ponto de um sistema elétrico não têm efeito isolado, visto que o sistema é composto por vários alimentadores e circuitos interligados de diversas formas.
- ✓ A propagação dos efeitos de um distúrbio é função do tipo e intensidade do distúrbio, da topologia do sistema, no tipo e potência das cargas instaladas e dos dispositivos de proteção inseridos no trecho do sistema em questão.



# Qualidade da Energia Elétrica

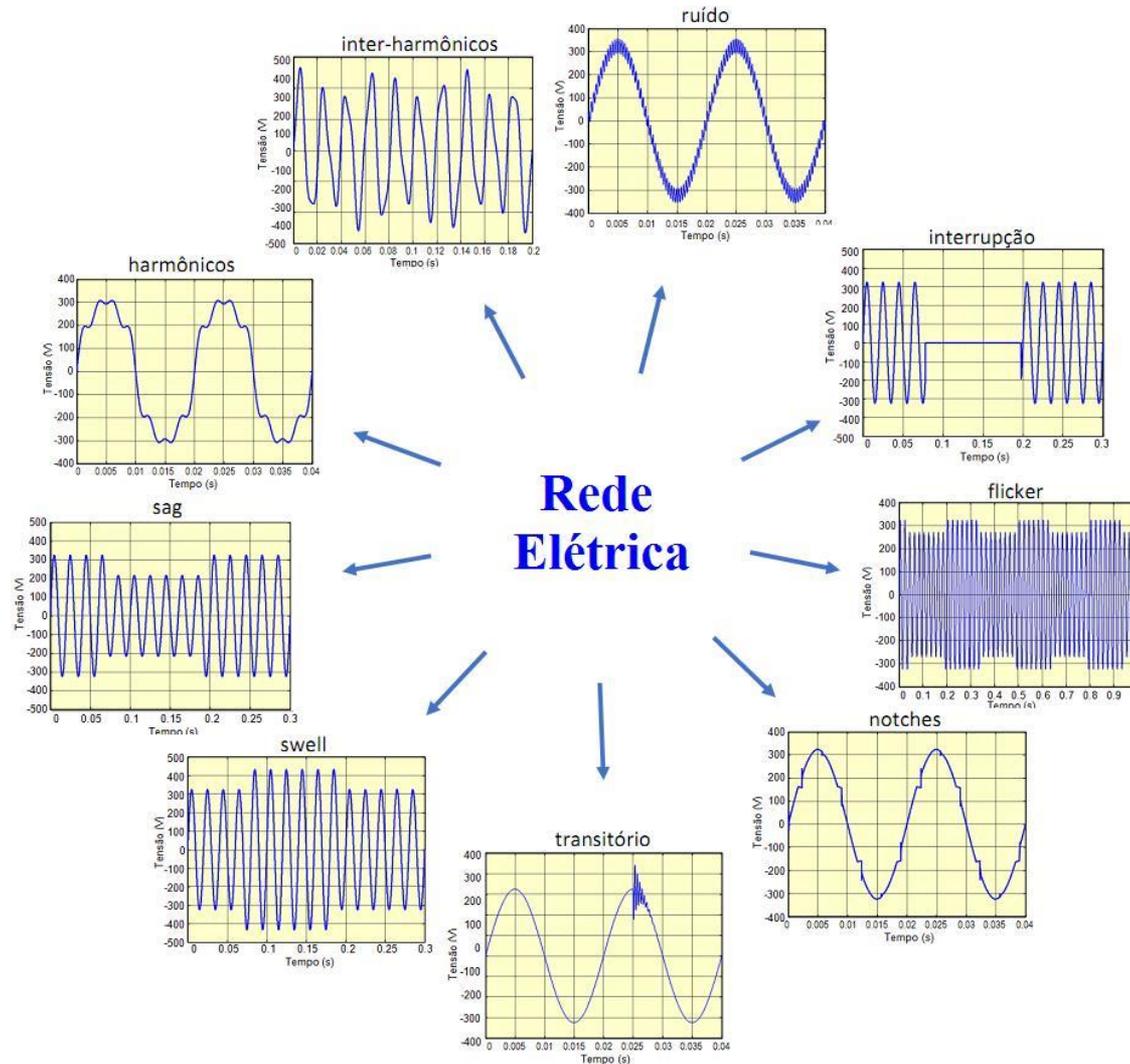
Área exposta para a barra 34 considerando todas as situações de falta.



- ✓ A essa região onde a ocorrência da falta produziu significativas alterações nas características operacionais das cargas, levando em muitos casos à interrupção de seu funcionamento, dá-se o nome de **Área de Vulnerabilidade**.

# *Qualidade da Energia Elétrica*

Através do traçado das **áreas de vulnerabilidade** de um sistema, torna-se possível a avaliação de desempenho dos circuitos de transmissão e distribuição, associados aos dispositivos de proteção, diante da ocorrência de defeitos, permitindo deste modo a correção de pontos fracos do sistema.



**FONTE:** Eddy L. Medeiros; Edson G. da Costa e George R. S. de Lira. Simulação e medição de distúrbios na qualidade da energia elétrica. Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil.

# *Qualidade da Energia Elétrica*

[olesk@sc.usp.br](mailto:olesk@sc.usp.br)

Fone: 016 3373 8142

Muito obrigado pela atenção!