

# Dispositivos de proteção

## Conceitos básicos e aplicações

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Depto. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
Escola Politécnica da USP

Junho/2011

# Sistemas de proteção

## Definições

- Sistemas de proteção são sistemas que tem o objetivo de desligar a parcela do sistema elétrico de potência que se encontra defeituosa, ou operando fora das suas condições normais;
- Nesse contexto, os sistemas de proteção devem atuar rapidamente para minimizar riscos à vida humana e danos aos equipamentos que compõem os sistemas elétricos de potência;
- Normalmente, há duas situações que podem produzir danos:
  - Sobrecargas de longa duração; e
  - Curtos-circuitos.

# Condições anormais de operação

## Falha no sistema de proteção

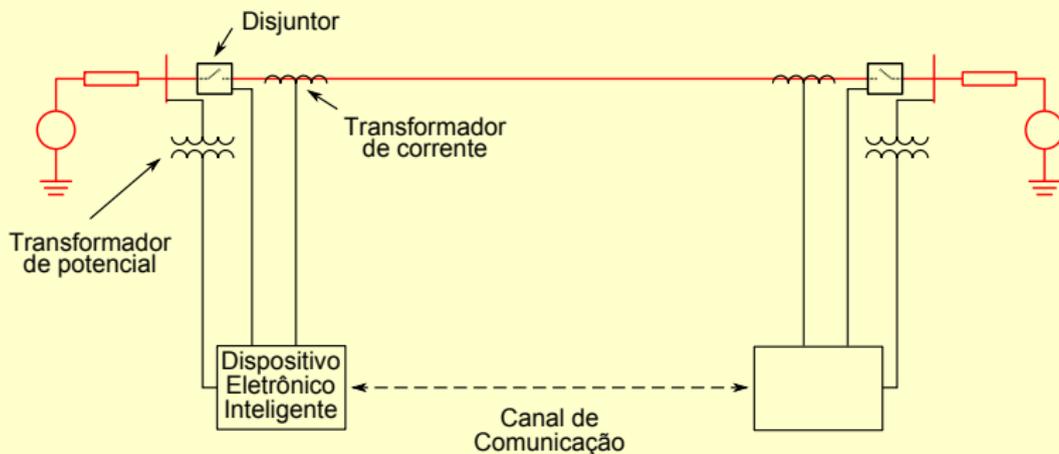
**Falha na Proteção do Transformador**

<http://www.youtube.com/watch?v=oDLzgZdt8ZM>

# Componentes dos sistemas de proteção

## Sistema de proteção de linhas de transmissão

- Os elementos dos sistemas de proteção mais complexos estão ilustrados na figura.



# Componentes dos sistemas de proteção

## Descrição dos componentes

- Transformadores de instrumentação: responsáveis por adequar os valores dos sinais de tensões e correntes, que circulam no sistema protegido, a valores que podem ser lidos pelos dispositivos eletrônicos inteligentes;
  - Transformador de corrente: responsável por adequar os valores dos sinais de corrente;
  - Transformador de potencial: responsável por adequar os valores dos sinais de tensão.
- Dispositivos eletrônicos inteligentes (relés de proteção): responsáveis por avaliar se o sistema elétrico encontra-se operando normalmente ou se há alguma condição anormal de operação (sobrecarga ou curto-circuito);

# Componentes dos sistemas de proteção

## Descrição dos componentes

- Dispositivos eletrônicos inteligentes (cont.);
  - Relés de proteção eletromecânicos: são equipamentos utilizados amplamente, cujo princípio de operação é mecânico;
  - Relés de proteção eletrônicos: são equipamentos utilizados durante um curto período, cuja operação é baseada em componentes eletrônicos analógicos;
  - Dispositivos eletrônicos inteligentes (relés numéricos ou relés digitais): são equipamentos desenvolvidos concomitantemente ao desenvolvimento dos processadores digitais, cuja operação é baseada em rotinas de *software*.

# Sistemas de proteção

## Descrição dos componentes

- Disjuntores: são elementos capazes de seccionar o circuito elétrico que se encontra operando fora das condições anormais de operação, mesmo quando a magnitude da corrente é elevada e há a formação de arco elétrico;
- Canais de comunicação: são compostos pelo meio físico de comunicação e pelos equipamentos capazes de proporcionar a troca de informações entre os relés de proteção, de modo a melhorar o desempenho global do sistema de proteção como um todo.

# Formação do arco elétrico

Seccionamento de rede de 500 [kV]

**Arco Elétrico - Nível de tensão de 500 [kV]**

<http://www.youtube.com/watch?v=6GilVze2Tac>

# Funções de proteção

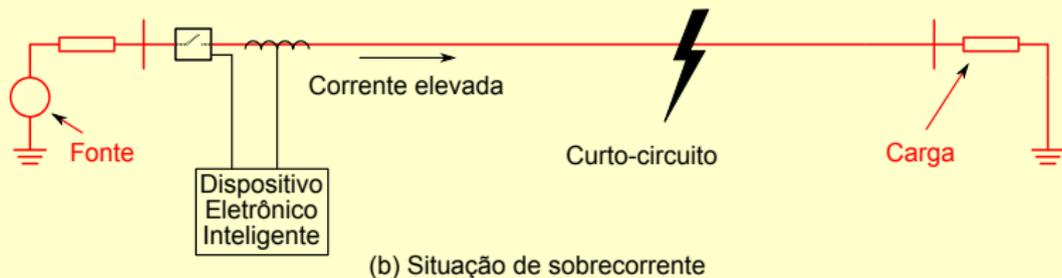
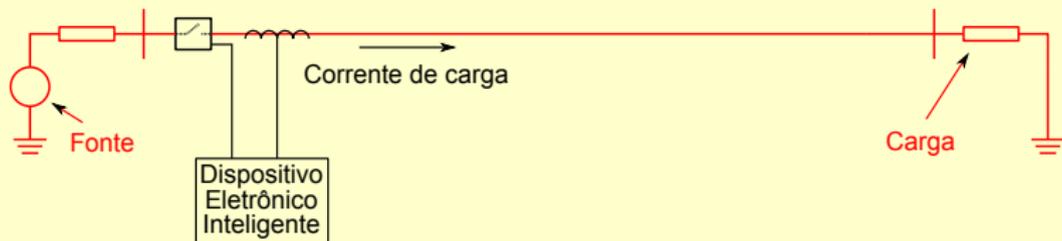
## Tipos de função de proteção

- Existem diversas funções de proteção, que foram desenvolvidas para a proteção dos equipamentos dos sistemas elétricos de potência (geradores, transformadores, linhas de transmissão, alimentadores de distribuição, etc.);
- Dentre as diversas funções de proteção pode-se destacar as funções de sobrecorrente, largamente empregadas em instalações elétricas de baixa tensão:
  - Sobrecorrente instantânea e temporizada (ANSI 50/51);
  - Sobrecorrente direcional instantânea e temporizada (ANSI 67).

# Proteção de sobrecorrente

## Exemplo

- A figura ilustra o exemplo de um dispositivo de proteção de sobrecorrente.



# Proteção de instalações elétricas de baixa tensão

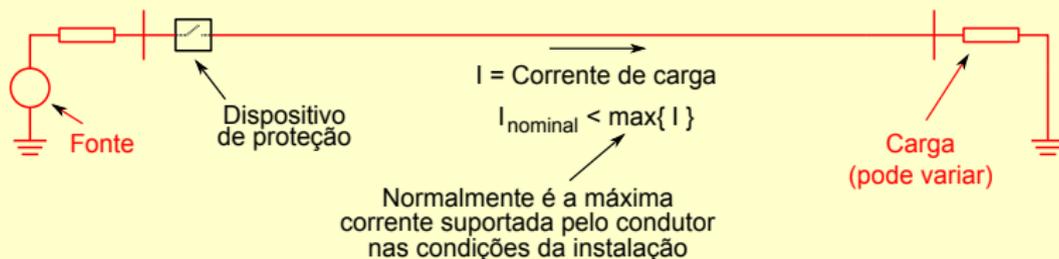
## Componentes do sistema de proteção

- Sistemas de proteção para instalações elétricas de baixa tensão normalmente são mais simples e apresentam um custo menor do que os sistemas de proteção para instalações elétricas mais sofisticadas;
- Nesse caso, os dispositivos que discernem as situações normais das situações de sobrecarga e/ou curto-circuito (relés de proteção) confundem-se com os dispositivos que efetuam o desligamento do circuito (disjuntores);
- Os dispositivos de proteção que encontram-se nessa categoria são:
  - Elos fusíveis;
  - Disjuntores (*quicklags*).

# Corrente nominal

## Definições

- É o máximo valor eficaz da intensidade de corrente que pode circular pelo dispositivo de proteção (elo fusível ou disjuntor *quicklag*) sem causar seu desligamento automático;
- É uma característica técnica do dispositivo de proteção em questão e, portanto, é parâmetro de projeto quando da seleção do dispositivo de proteção mais conveniente para os diversos circuitos da instalação elétrica;



# Corrente nominal

## Definições

- O dispositivo de proteção (elo fusível e/ou disjuntor) se comporta segundo as equações:

$$\begin{cases} I < I_{nominal} \rightarrow \text{não ocorre o desligamento;} \\ I > I_{nominal} \rightarrow \text{ocorre o desligamento em } \Delta t = f \{ I^{-1} \} \end{cases}$$

- O tempo para seccionamento do circuito elétrico, que é protegido pelo dispositivo de proteção, é dado por:

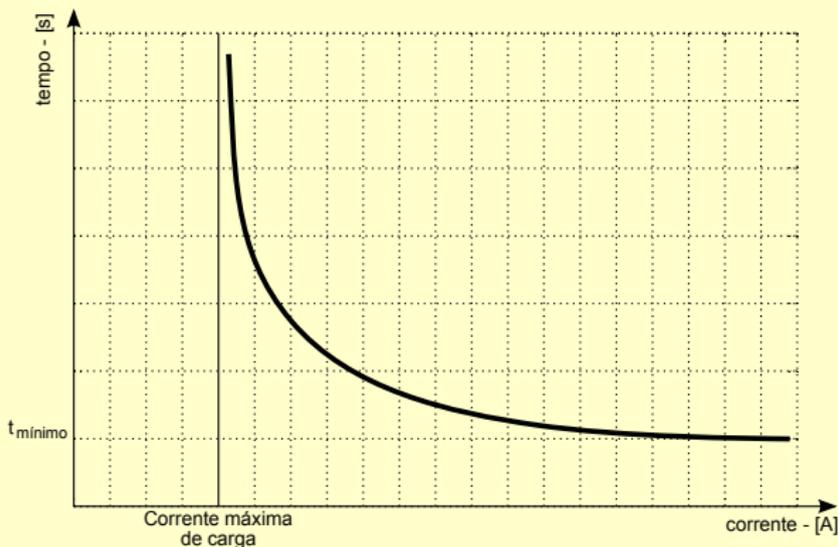
$$\Delta t = t_{\text{início curto}} - t_{\text{extinção}}$$

- Esse tempo é inversamente proporcional à magnitude da corrente de sobrecarga ou curto-circuito, isto é, quanto maior essa corrente, menor o tempo para o dispositivo de proteção desligar o circuito.

# Curva “Tempo vs. Corrente”

Característica de atuação dos dispositivos para proteção contra sobrecorrente

- A curva “Tempo vs. Corrente”, ilustrada na figura, descreve o comportamento descrito pelas equações apresentadas anteriormente.



# Capacidade disruptiva

## Definições

- É o máximo valor eficaz da corrente que pode ser interrompida pelo dispositivo de proteção;
- Assim como a corrente nominal, também é uma característica técnica do dispositivo de proteção em questão e, portanto, é parâmetro de projeto quando da seleção do dispositivo de proteção mais conveniente para os diversos circuitos da instalação elétrica;

# Capacidade disruptiva

## Definições

- Normalmente é expressa em termos de corrente máxima ou de potência aparente máxima que o dispositivo de proteção é capaz de interromper:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{disruptiva} = \sqrt{3} V_{nominal} \cdot I_{disruptiva} \rightarrow \text{circuito trifásico;} \\ S_{disruptiva} = V_{nominal} \cdot I_{disruptiva} \rightarrow \text{circuito monofásico.} \end{array} \right.$$

- Onde:

$V_{nominal}$  Tensão eficaz nominal de linha [V];

$I_{disruptiva}$  Corrente disruptiva [A];

$S_{disruptiva}$  Capacidade disruptiva [VA].

# Capacidade disruptiva

## Dimensionamento incorreto

**Capacidade Disruptiva - Dimensionamento incorreto**

<http://www.youtube.com/watch?v=ZhFY7wepltQ>

# Elos fusíveis

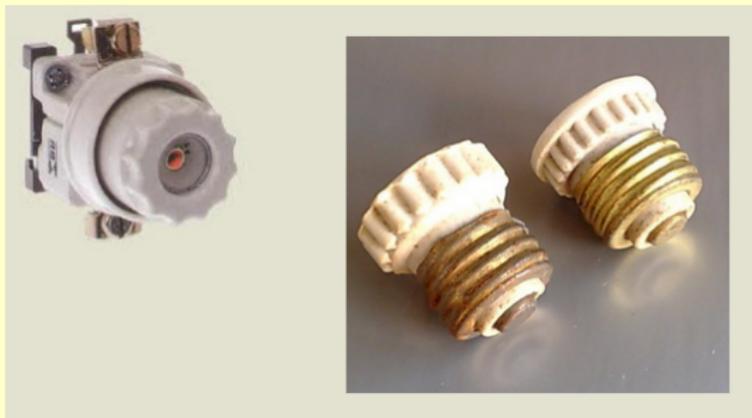
## Definições

- Elos fusíveis são dispositivos de proteção constituídos por elemento condutor, de composição especial, dimensionado de modo a fundir com intensidade de corrente especificada;
- O processo de fusão ocorre em um intervalo de tempo bem determinado;
- O calor para a fusão provém da corrente que o atravessa, por efeito Joule;
- Os tipos de fusíveis mais comuns, utilizados em instalações elétricas de baixa tensão, são: tipo rosca; cartucho (faca ou virola); diazed; e NH, que possui alta capacidade disruptiva.

# Elos fusíveis

## Tipo rosca

- A figura a seguir ilustra um fusível do tipo rosca.



<http://hifusi.com.br>

# Elos fusíveis

## Fusível cartucho do tipo virola

- A figura a seguir ilustra um fusível cartucho do tipo virola.



<http://hifusi.com.br>

# Elos fusíveis

## Fusível cartucho do tipo faca

- A figura a seguir ilustra um fusível cartucho do tipo faca.



<http://hifusi.com.br>

# Elos fusíveis

## Tipo diazed

- A figura a seguir ilustra um fusível do tipo diazed.



<http://portuguese.alibaba.com>

# Elos fusíveis

## Tipo NH

- A figura a seguir ilustra um fusível do tipo NH, que possui alta capacidade disruptiva.



<http://www.eletricapaulista.com.br/>

# Fusível tipo NH

## Princípio de funcionamento

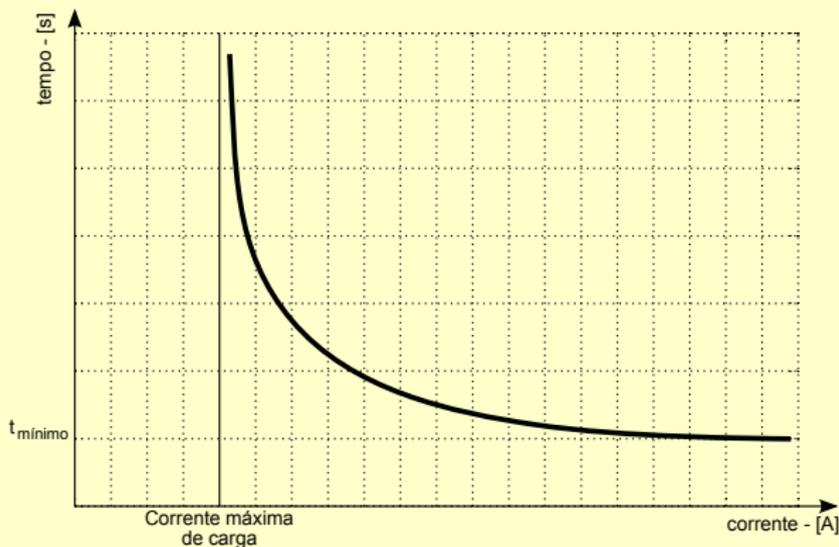
**Fusível NH - Princípio de Funcionamento**

<http://www.youtube.com/watch?v=ZhFY7wepltQ>

# Característica de operação dos fusíveis

## Curva “Tempo vs. Corrente”

- A curva “Tempo vs. Corrente”, ilustrada na figura, descreve o comportamento genérico de um dispositivo de proteção do tipo fusível.



# Disjuntores

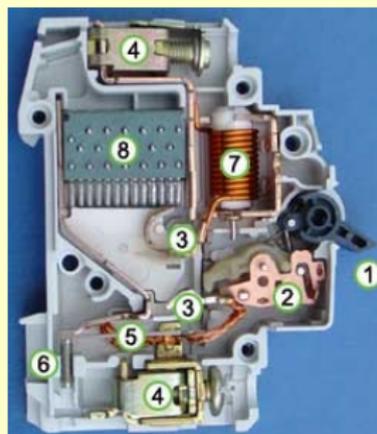
## Definições

- Disjuntores de baixa tensão (*quicklags*) são dispositivos do tipo *no fuse*, pois interrompem o circuito pela abertura de uma chave;
- Possuem dois elementos que “percebem” a ocorrência de sobrecorrente devido à sobrecarga ou curto-circuito:
  - Elemento térmico: responsável pela detecção de eventos de sobrecarga de longa duração;
  - Elemento magnético: responsável pela detecção de eventos de curto-circuito.
- Além desses elementos, os disjuntores possuem uma chave e uma câmara de extinção do arco elétrico que se forma durante a abertura da chave.

# Aspectos construtivos

## Arranjo típico

- A figura ilustra o arranjo de um disjuntor de baixa tensão.



1) Alavanca de acionamento

2) Mecanismo de atuação

3) Contatos elétricos

4) Terminais

5) Par bimetálico e cordoalha de cobre

6) Parafuso de calibração

7) Eletroímã

8) Câmara de extinção de arco

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Circuitbreaker.jpg>

# Elemento térmico

## Princípio de funcionamento

**Princípio de Operação - Elemento Térmico**

<http://www.youtube.com/watch?v=AEkX6GEm06g>

# Elemento magnético e extinção do arco

## Princípio de funcionamento

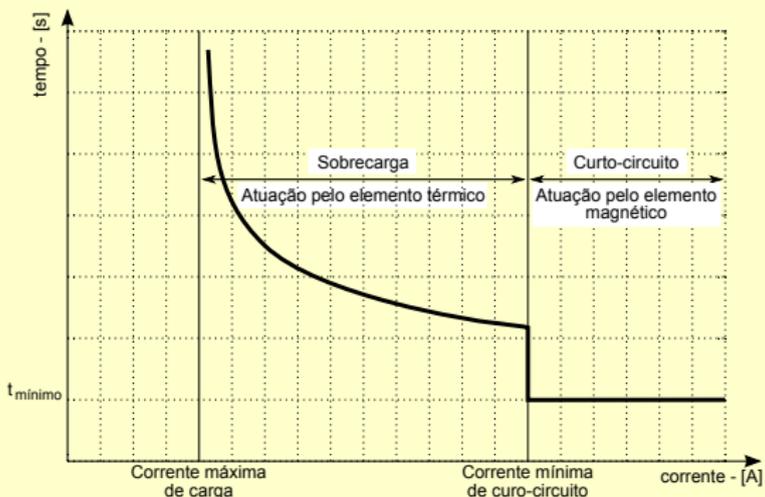
**Princípio de Operação - Elemento Magnético e Extinção do arco**

<http://www.youtube.com/watch?v=AEkX6GEm06g>

# Característica de operação dos disjuntores

## Curva “Tempo vs. Corrente”

- A curva “Tempo vs. Corrente”, ilustrada na figura, descreve o comportamento genérico de um dispositivo de proteção do tipo disjuntor.



# Coordenação da proteção

## Exemplo

