

# Equipamentos de proteção das redes primárias de distribuição

Proteção do Sistema Elétrico de Potência

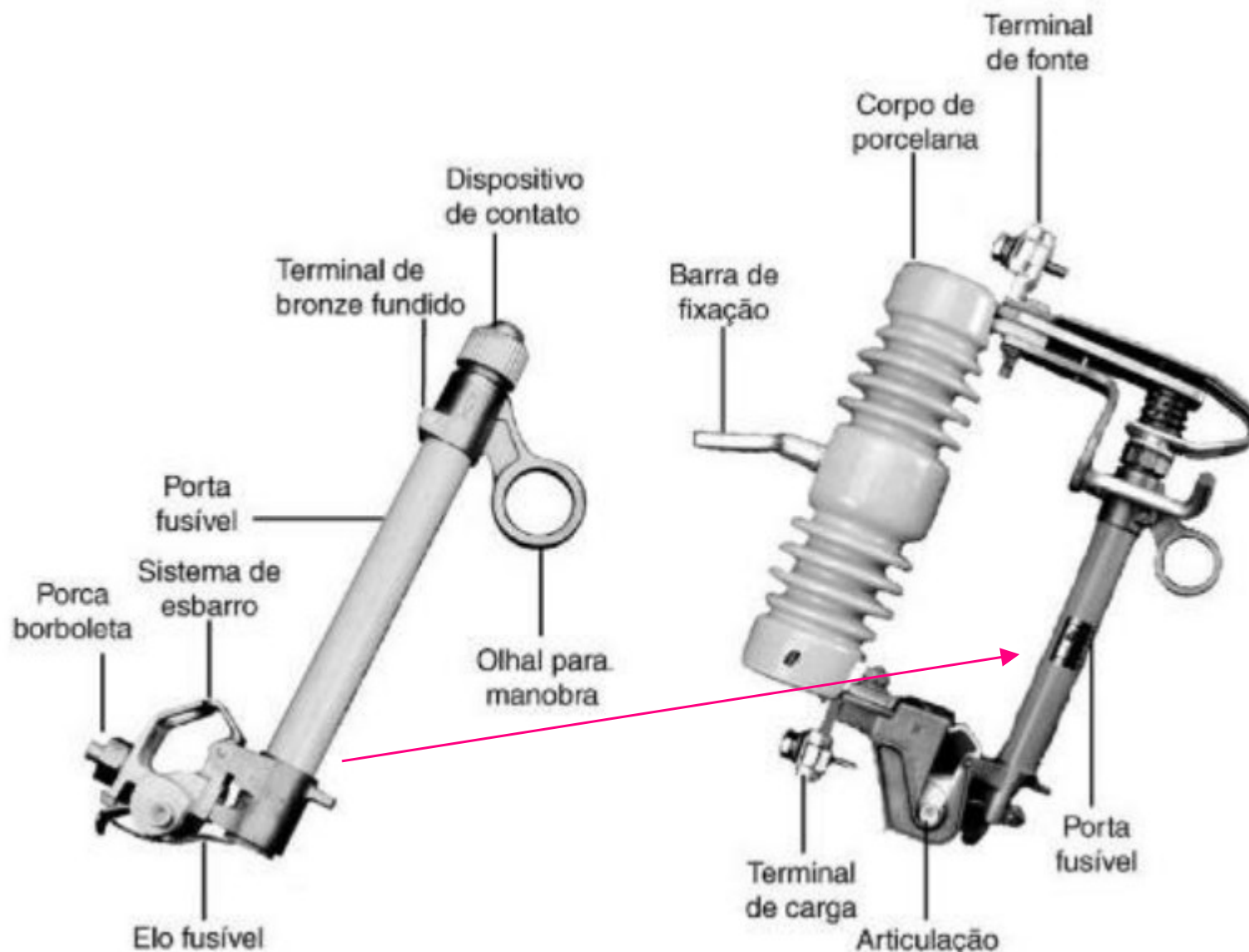
# Referências

- FRAZÃO, RJA. Proteção do Sistema Elétrico de Potência. 2019. ISBN 978-85-522-1435-9. (livro-texto)
- BLASI, TM. Fusíveis. TE131 - Proteção de Sistemas Elétricos. UFP. [http://www.eletr.ufpr.br/p/\\_media/professores:mateus:aula\\_fusiveis\\_thais.pdf](http://www.eletr.ufpr.br/p/_media/professores:mateus:aula_fusiveis_thais.pdf)
- FRITZEN, PC. Elos Fusíveis. Proteção de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. UTFPR.

# Chave fusível x Elo fusível



# Chave fusível



(a) Porta fusível.

(b) Chave fusível unipolar.

# Elo fusível

- Dispositivo de proteção contra sobrecorrente mais utilizado nas redes de distribuição primárias
- O filamento interno se aquece e derrete (rompe) quando um fluxo de corrente excede um valor predeterminado
- A eficiência da operação do elo fusível pode ser avaliada por meio de três parâmetros
  - isolar completamente a rede elétrica sob falta pelo rompimento do seu filamento interno
  - ser capaz de eliminar adequadamente o arco elétrico gerado durante o rompimento do filamento
  - manter a rede elétrica aberta, sem centelhamento, mesmo com tensão nominal aplicada em seus terminais


# Elo fusível

- A maioria dos elos fusíveis encontrada nas redes primárias funciona segundo o princípio denominado de expulsão, isto é, o filamento é envolto por um tubo revestido internamente com uma fibra de ionização, assim, na presença de um curto-circuito, a fibra é aquecida quando o filamento se rompe (derrete), produzindo gases de ionização que se acumulam no tubo
- Dessa forma, o arco é comprimido e expulso do tubo, além disso, a liberação do gás pelas extremidades do tubo garante que as partículas que sustentam o arco sejam completamente expelidas

# Elo fusível

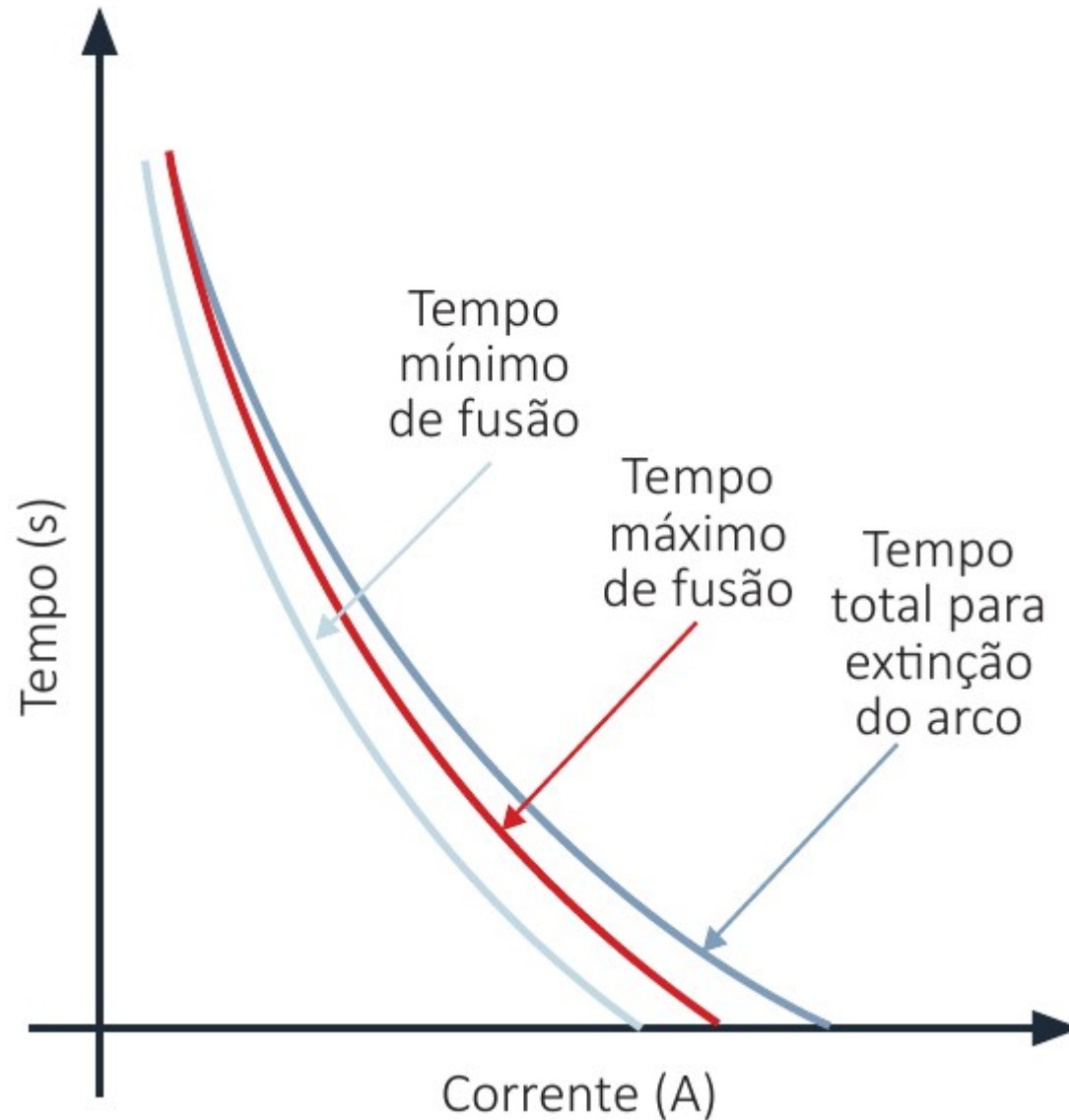
- O elo fusível é classificado segundo a sua taxa de velocidade (SR – speed ratio), também conhecida com relação de rapidez
- Por convenção o SR é dado pela razão entre a corrente mínima de fusão do elo, em 0,1 s, e a corrente mínima de fusão em 300 s
- São comumente classificados como rápidos, lentos e muito lentos, designados pelas siglas K, T e H

# Elo fusível

- Tipo K – elos fusíveis rápidos com SR variando entre 6 e 8. Possuem capacidade de sobrecarga de 50% do seu valor nominal e, em geral, são aplicados na proteção de transformadores e ramais laterais de alimentadores
- Tipo T – elos fusíveis lentos com SR variando entre 10 e 13. Assim como o tipo K, os elos fusíveis tipo T também suportam uma sobrecarga de 50% e são igualmente aplicados na proteção de transformadores e ramais
- Tipo H – elos fusíveis especiais que suportam uma elevada sobrecorrente e, ainda assim, asseguram uma alta temporização de operação. Considerado dispositivo de atuação muito lenta. Aplicados quase que exclusivamente na proteção de transformadores visando evitar operações desnecessárias durante transitórios de curta duração, tal como correntes de *inrush*  corrente elétrica de energização de um transformador



# Curvas características de fusão do elo fusível



# Exemplo

Tabela 3.1 | Dados do elo fusível 1

Tempo (s)	Corrente (A)
0,1	4500
300	575

Tabela 3.2 | Dados do elo fusível 2

Tempo (s)	Corrente (A)
0,1	6700
300	535

- Avaliação de dois elos fusíveis, ambos com corrente nominal de 200 A
- Nas Tabelas 3.1 e 3.2 constam os dados do tempo mínimo de fusão do elo em função da corrente, fornecidos pelo fabricante

Questão: determinar o SR, assim como a classificação dos elos

# Solução

- Analisando a Tabela 3.1 podemos inferir que o SR é igual a 7,82 ( $4500 \div 475$ ) → entre 6 e 8 : tipo K
- Considerando a Tabela 3.2, tem-se um SR = 12,52 ( $6700 \div 535$ ) → entre 10 e 13 : tipo T
- Ambos possuem corrente nominal de 200 A, portanto:
  - fusível 1 = 200K
  - fusível 2 = 200T

# Proteção com religadores



# Religadores

- Dispositivo capaz de:
  - Detectar condições de falta
  - Interromper o circuito se a sobrecorrente persistir após um intervalo de tempo predeterminado
  - Após testes de verificação, religar automaticamente o circuito
- Se a falta que originou a operação ainda existir, o religador permanecerá aberto após um número predefinido de operações, isolando o circuito sob falta do restante da rede

# Religadores

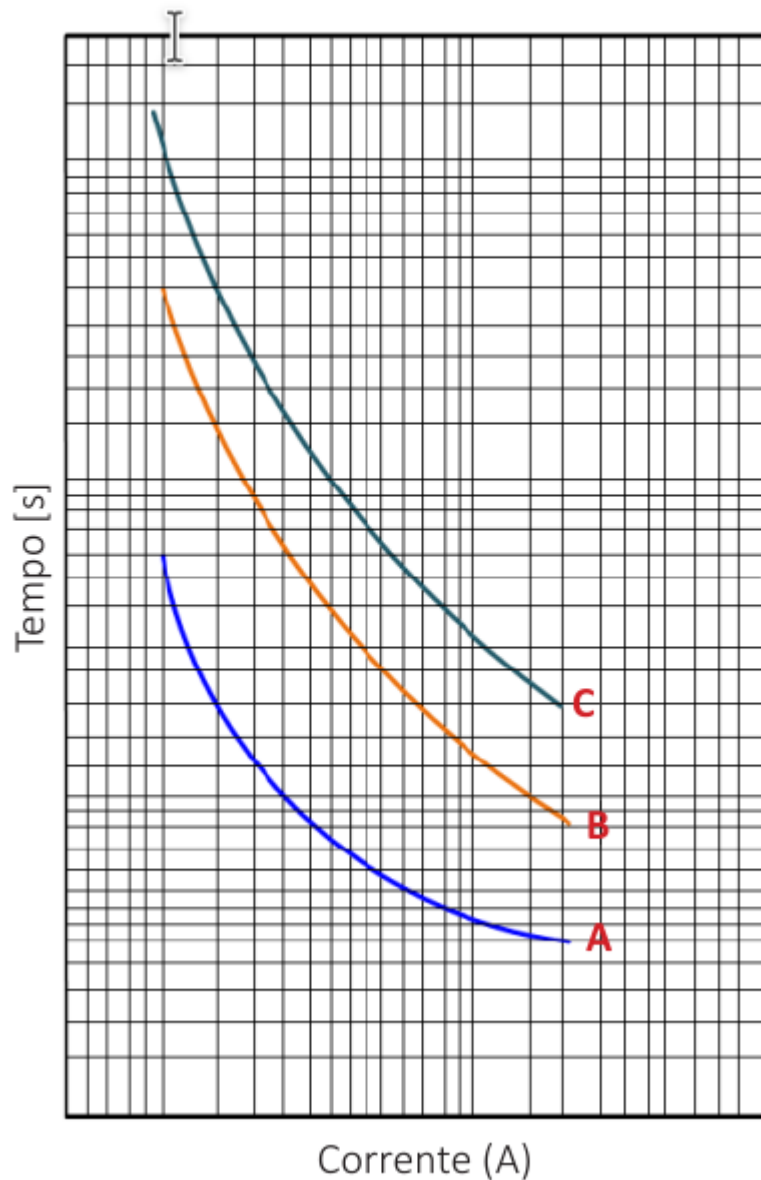
- Nas redes de distribuição primárias, entre 75% e 90% das faltas são de natureza temporária e duram, no máximo, alguns ciclos ou segundos
- Com sua característica de abertura/fechamento, impede que um circuito de distribuição fique fora de serviço por faltas temporárias
- São projetados para contagem e registro de até três operações de fechamento e, após uma operação de abertura final, eles bloqueiam a sequência de abertura/fechamento, definindo assim o ciclo de operação

# Religadores

- O intervalo de tempo entre uma abertura e um religamento é denominado de tempo de religamento ou, no jargão do engenheiro de proteção, tempo morto
- Em geral, os religadores também permitem operações manuais de fechamento

# Curvas Tempo x Corrente

Figura 3.3 | Curvas Tempo x Corrente do religador



- Normalmente existem três curvas, uma rápida e duas lentas, designadas como A, B e C



# Religadores digitais



- Nos religadores digitais uma variedade de curvas podem ser criadas, permitindo a reprogramação sem necessidade de alterações dos demais dispositivos dentro da zona de proteção
- Executa funções de:
  - proteção
  - medição
  - comunicação

# Religadores digitais



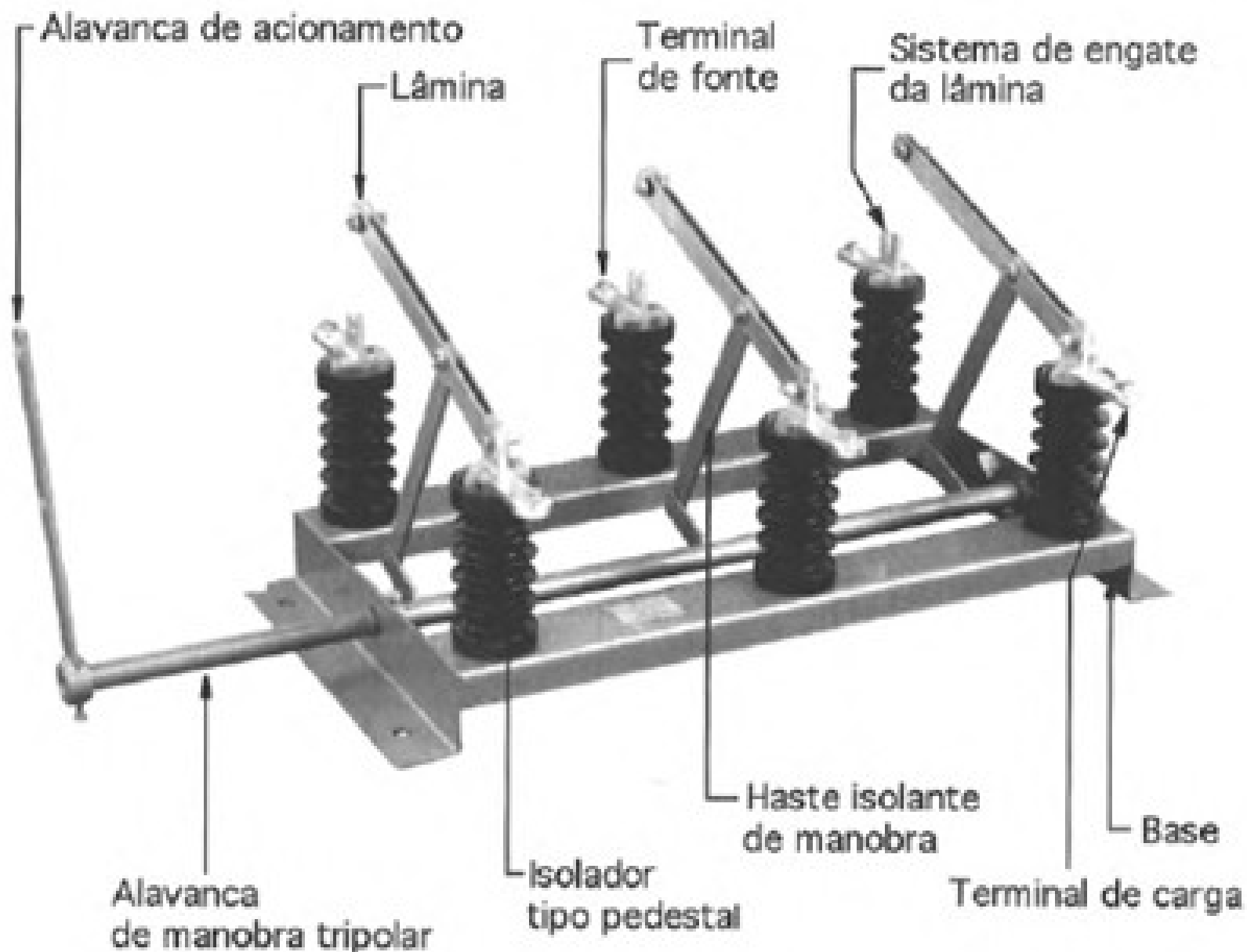
- Formados basicamente por:
  - módulos de chaveamento com interruptores a vácuo
  - microcontrolador
- Facilitam a automação nas redes de distribuição e são vistos por muitos como elementos essenciais na implantação de redes de distribuição ativas e inteligentes

# Religadores

Com relação à alocação de religadores, estes podem ser instalados nos seguintes pontos da rede de distribuição:

- **Em subestações**, para fornecer proteção primária para um alimentador de saída
- **No próprio alimentador**, visando permitir o seu seccionamento, caso um curto-circuito se origine a jusante do religador  
após
- **Em ramos laterais**, que emerge dos alimentadores, pois, caso uma falta ocorra nesses ramos, os mesmos podem ser retirados de operação sem a necessidade da completa desconexão do alimentador

# Proteção com seccionador



# Proteção com seccionador



# Seccionizador

- Dispositivo que isola automaticamente o circuito que ele protege, uma vez que um disjuntor ou religador a montante interrompe a corrente de falta
- Não tem capacidade de interromper correntes de curto-circuito
- Obrigatoriamente deve ser empregado em conjunto com um dispositivo de retaguarda que tenha capacidade de interrupção da corrente de falta

# Seccionizador

- Basicamente é constituído por
  - um sensor de sobrecorrente
  - um mecanismo de contagem das operações (desligamentos) realizadas pelo equipamento de retaguarda (religador)
  - um mecanismo para travamento na posição aberto
- Em essência, o seccionizador conta o número de operações do religador durante condições de falta
- A contagem se inicia quando o fluxo de corrente que o atravessa é interrompido pelo religador ou cai abaixo de um valor pré-determinado

# Seccionizador

- Após certo número de ocorrências (uma, duas ou três), que corresponde ao ajuste do equipamento, o seccionizador abre seus contatos e permanece travado na posição aberto, isolando o circuito acometido pela falta
- Isso permite que o religador restabeleça o suprimento de energia para áreas livres de faltas, de modo a melhorar a confiabilidade dos serviços prestados pela concessionária
- Se a falta for temporária, o mecanismo de operação do seccionizador é reinicializado



# Seccionizador

- Não possui característica operacional baseada na curva Tempo x Corrente
- Pode ser usado sem nenhum problema entre dois dispositivos de proteção cujas curvas de operação são muito próximas
- Seccionizadores encontrados nas redes de distribuição primárias são, em sua grande maioria, construídos em arranjos monofásicos ou trifásicos com mecanismos de operação hidráulicos ou eletrônicos

# Seccionalizadores com mecanismos de operação eletrônicos

- São notoriamente reconhecidos pela flexibilidade operativa e pela fácil configuração
- A sua operação é dada da seguinte forma:
  - a corrente da rede é medida por meio de TCs
  - a corrente secundária é enviada a um circuito de controle que conta o número de operações do religador
  - dependendo da avaliação realizada, envia um sinal de disparo ao mecanismo de travamento na posição aberto
- Esse tipo de seccionalizador é construído, em sua grande maioria, com fechamento motorizado

# Protetor de rede (Network Protector) para redes subterrâneas

27

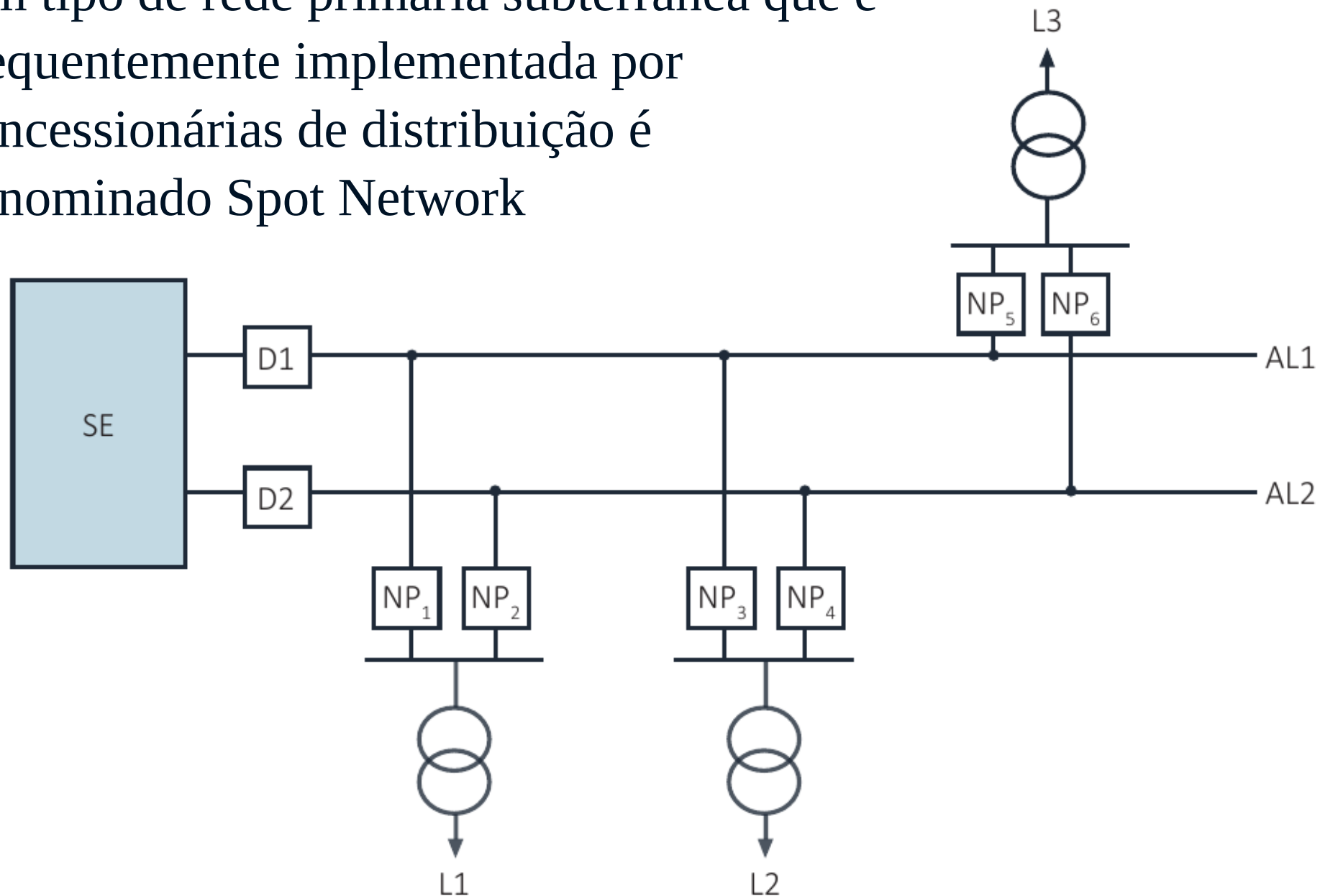


# Redes subterrâneas

- Redes de distribuição primárias subterrâneas têm grande aplicabilidade em áreas com elevada densidade de carga, por exemplo na região central de grandes cidades
- Apresentam alta confiabilidade, contudo, restrições relativas aos custos de implantação e manutenção impõem dificuldades para seu uso massivo
- Com o passar dos anos, a diferença de custo entre os cabamentos aéreos e subterrâneos tem diminuído gradativamente

# Redes subterrâneas

- Um tipo de rede primária subterrânea que é frequentemente implementada por concessionárias de distribuição é denominado Spot Network

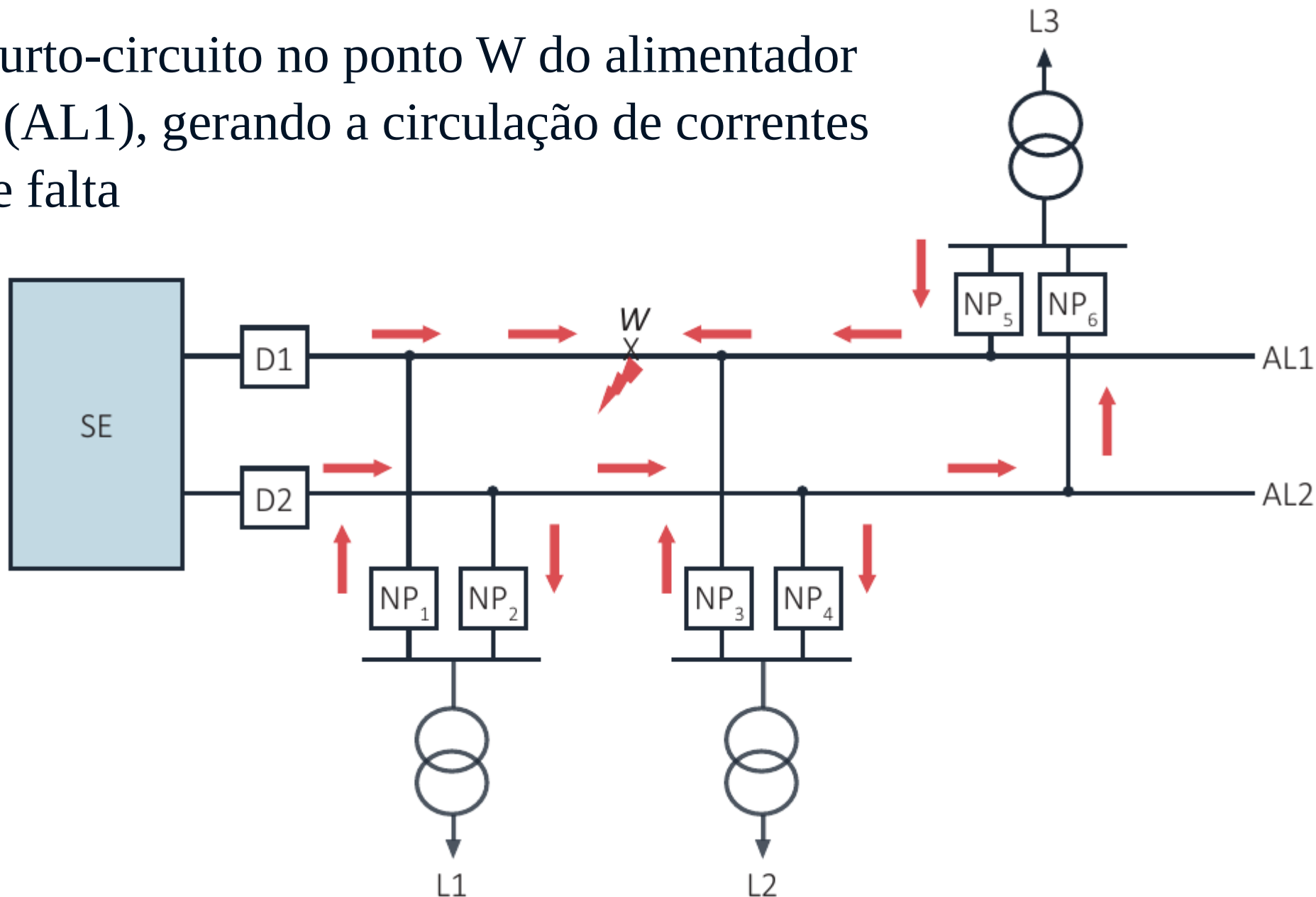


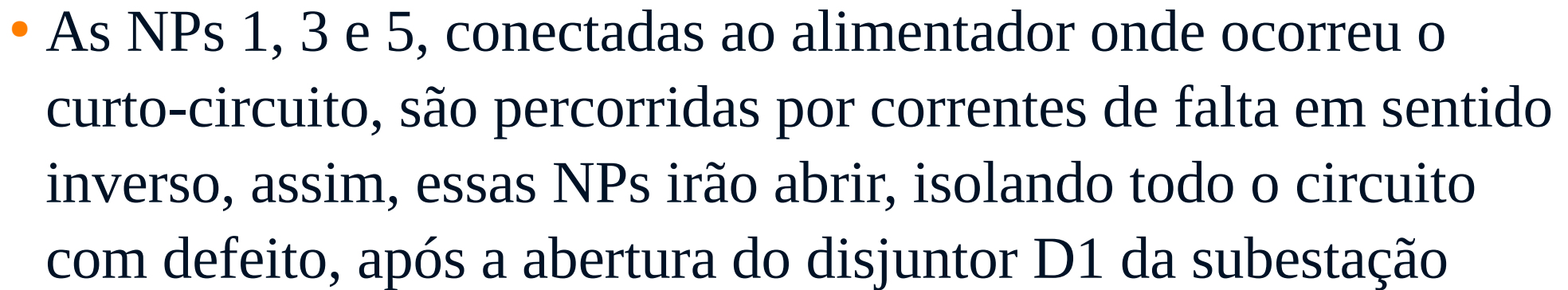
# Spot Network

- Nessa configuração, cada transformador de distribuição é suprido por dois ou três alimentadores derivados de uma única subestação ou de subestações distintas
- Nos transformadores existe uma chave especial, NP, que é a responsável pela proteção denominada Network Protector
- Essas chaves têm por finalidade detectar a reversão do fluxo das correntes de falta na rede

# Spot Network

- Curto-circuito no ponto W do alimentador 1 (AL1), gerando a circulação de correntes de falta

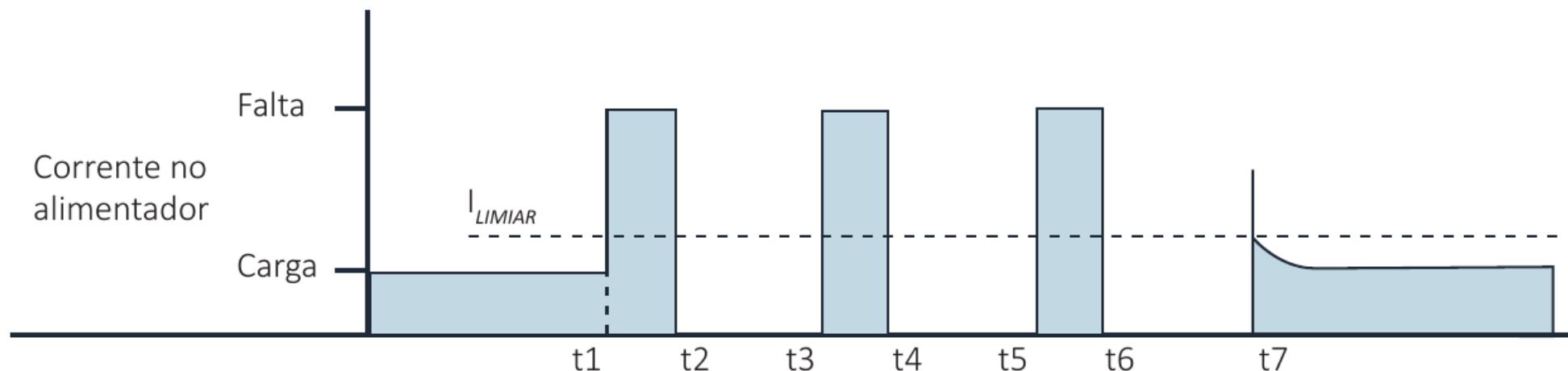






# Exemplo

Figura 3.1 | Gráfico da corrente no alimentador



- Podemos encontrar vários tipos de dispositivos de proteção para redes de distribuição primárias, contudo, o religador automático desempenha papel primordial, pois, ele é capaz de reenergizar partes da rede

# Exemplo

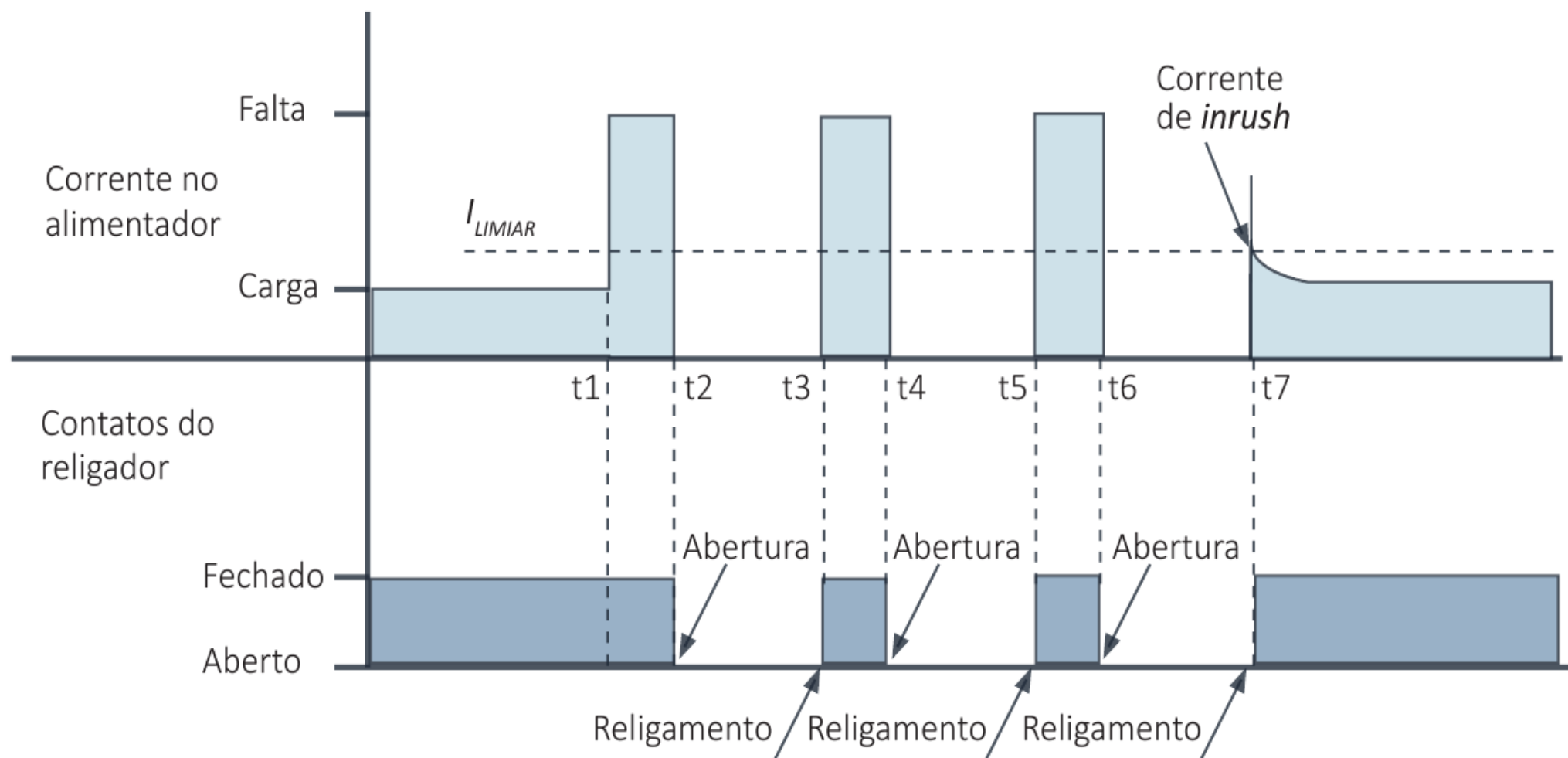
- Na prática, o religador é capaz de realizar três tarefas distintas:
  - detectar condições de sobrecorrente
  - isolar o circuito se a sobrecorrente persistir após um dado intervalo de tempo
  - depois de realizar testes de verificação, religar automaticamente o circuito
- Sabendo que a corrente no alimentador é permanentemente monitorada e, para uma dada condição de operação, ela pode ser expressa segundo o gráfico mostrado na Figura 3.1

# Problema

- Avaliar a atuação de um religador, ajustado para 3 religamentos, alocado em um dado alimentador
- Levantar o gráfico de atuação do religador com base no gráfico da corrente no alimentador
- Avaliar se o religador, em algum momento, entra em modo de bloqueio

# Solução

Figura 3.6 | Gráfico de operação do religador



# No instante inicial

- A corrente no alimentador está em regime permanente alimentando a carga
- Não há ocorrência de falta nessa condição
- Os contatos do religador devem ser mantidos fechados

# Sequência

- No instante  $t_1$  ocorre uma falta, pois a corrente de falta é superior à corrente  $I_{LIMIAR}$  responsável por sensibilizar o religador
- Ele ainda mantém seus contatos fechados por um curto intervalo de tempo, antes de abri-los em  $t_2$ , levando a corrente do alimentador a um valor nulo
- O religador espera o tempo morto transcorrer, antes de tentar religar o alimentador em  $t_3$ , contudo, o religador percebe que a corrente de falta ainda está presente, assim, ele abre seus contatos novamente em  $t_4$

# Sequência

- Mais uma vez, o religador espera transcorrer o tempo morto e tenta novamente reenergizar o alimentador em  $t_5$
- Contudo, a corrente de falta ainda é persistente, então, o religador abre novamente seus contatos em  $t_6$
- Deixando transcorrer mais um tempo morto, o religador tenta reenergizar pela última vez o alimentador fechando seus contatos em  $t_7$

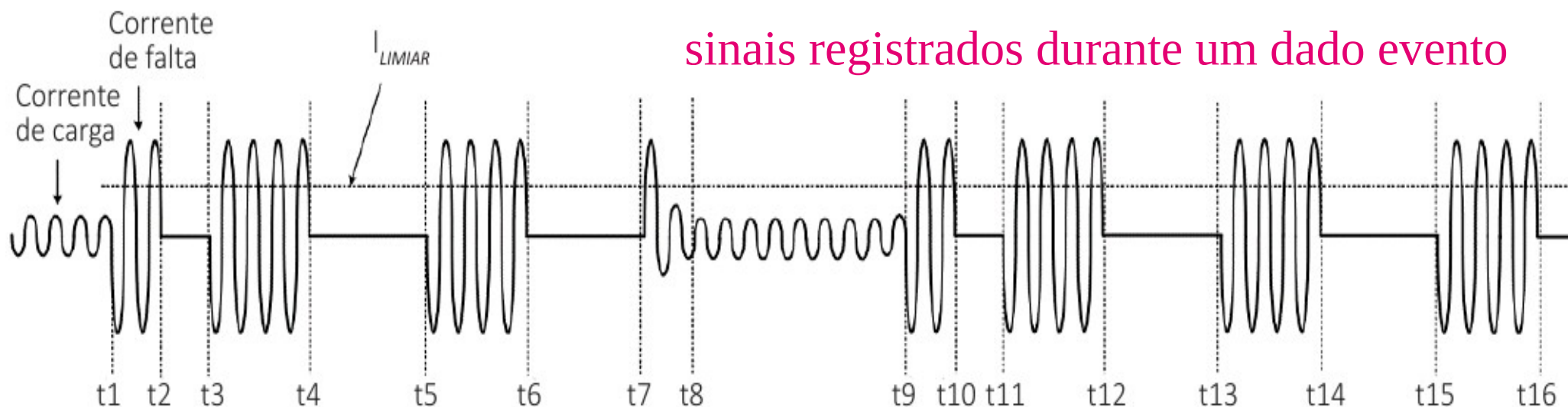
# Sequência

- Nesse momento, o religador percebe que o valor da corrente está se estabilizando abaixo do valor  $I_{LIMIAR}$ , assim, ele infere que seus contatos devem permanecer fechados, pois a carga voltará a ser suprida adequadamente
- Como religador foi ajustado para 3 religamentos, o mesmo realizou exatamente três tentativas de reenergização do alimentador
- Em nenhum momento o religador entrou em modo de bloqueio



# Exemplo - análise oscilográfica da sequência de operação do religador

Figura 3.7 | Sequência de operações do religador digital



- Realizar a análise oscilográfica de um moderno religador digital, ajustado para 2 religamentos, capaz de registrar os sinais de corrente durante as operações de abertura/fechamento de seus contatos. Explicar a operação desempenhada pelo religador para cada instante de tempo

# Solução

- Para  $t < t_1$  , o religador mantém seus contatos fechados para suprir a carga, contudo, em  $t = t_1$  , tem-se o início de uma falta
- Para  $t_1 < t < t_2$  há uma rápida operação do religador ainda com seus contatos fechados porém, em  $t = t_2$  , o religador abre seus contatos, permanecendo abertos até  $t < t_3$
- Quando  $t = t_3$  , o religador fecha seus contatos, todavia, a corrente de falta ainda está presente, dessa forma, em  $t = t_4$  , o religador abre seus contatos, permanecendo abertos até  $t < t_5$

# Solução

- Em  $t = t_5$ , o religador volta a fechar seus contatos, contudo, mais uma vez, a corrente de falta ainda existe, assim, em  $t = t_6$  os contatos são abertos e mantidos nesta posição até  $t < t_7$ , pois, em  $t = t_7$ , seus contatos voltam a ser fechados
- Para  $t_7 < t < t_8$ , observa-se um pequeno efeito transitório, contudo, em  $t = t_8$ , a corrente volta para um regime normal de operação, mantendo-se até  $t < t_9$
- Assim, pode-se concluir que durante toda essa operação o religador não entrou em modo de bloqueio

# Solução

- Em  $t = t_9$ , uma nova corrente de falta se origina, para tanto, três tentativas de religamentos foram executadas entre  $t_{11} < t < t_{12}$ ,  $t_{13} < t < t_{14}$  e  $t_{15} < t < t_{16}$
- Como o relé é ajustado para dois religamentos, a partir de  $t_{16}$  ele entra em modo de bloqueio