



# Instalações Elétricas e Industriais para Automação : Código DPEE 1036

---

Professor: Anselmo Rafael Cukla

# Objetivos

---

- Sistema de proteção contra sobrecorrentes e correntes de curto-circuito.
  - Disjuntores.
    - Conhecer os fundamentos de funcionamento e especificação de disjuntores de baixa tensão.

# Introdução

---

- Os sistemas de proteção tem o objetivo de desligar a parcela do sistema elétrico de potência que se encontra defeituosa, ou operando fora das suas condições normais;
- A 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.

# Introdução

---

- As falhas elétricas devem ser **limitadas em tempo** de duração no caso de sobrecorrente, e **na amplitude** no caso de falhas de tensão.
- Os dispositivos de proteção devem desligar o circuito nas condições adversas.
- Os principais dispositivos de proteção e segurança de sobre correntes e curto-circuito, são os fusíveis, disjuntores e reles térmicos.

# Introdução

---

- Os 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**;
- Os disjuntores são construídos de forma de atender as exigências da norma NBR 5361:1998, de forma que operam com um bimetal térmico para sobre cargas e um circuito magnético para curto-circuito.
- Disjuntores podem ser instalados nos trilhos de um quadro de distribuição.



# Introdução

---

- Exemplo de falha no sistema de proteção:

<https://www.youtube.com/watch?v=WHrqsgzp9HI>

- Formação de arco elétrico

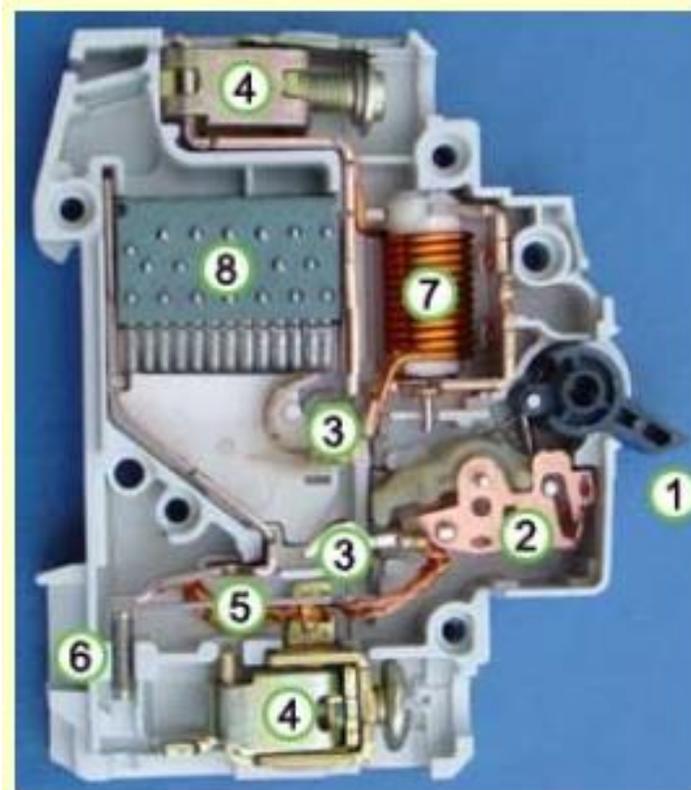
<https://www.youtube.com/watch?v=tIQNblqPA9U>

# Disjuntores termomagnéticos

- Disjuntores de baixa tensão 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.

# Disjuntor termomagnético

Disjuntor de baixa tensão



1) Alavanca de acionamento

2) Mecanismo de atuação

3) Contatos elétricos

4) Terminais

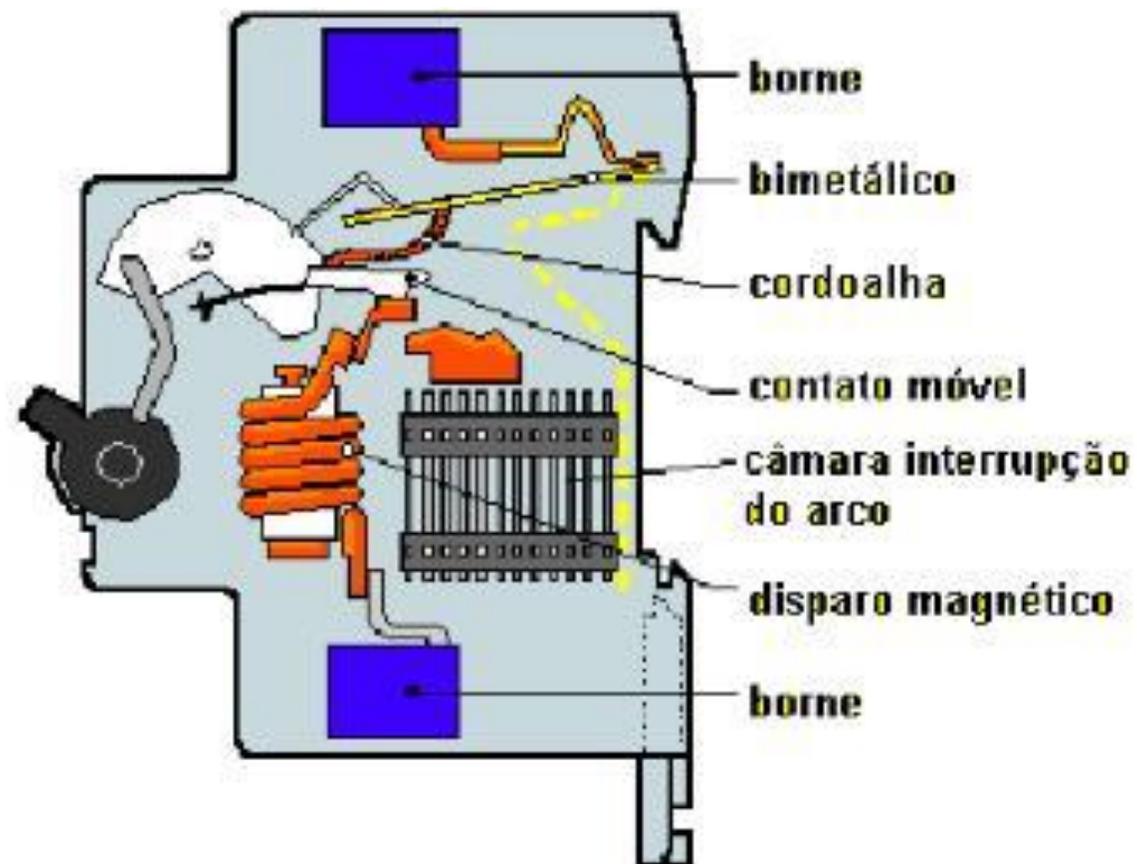
5) Par bimetálico e cordoalha de cobre

6) Parafuso de calibração

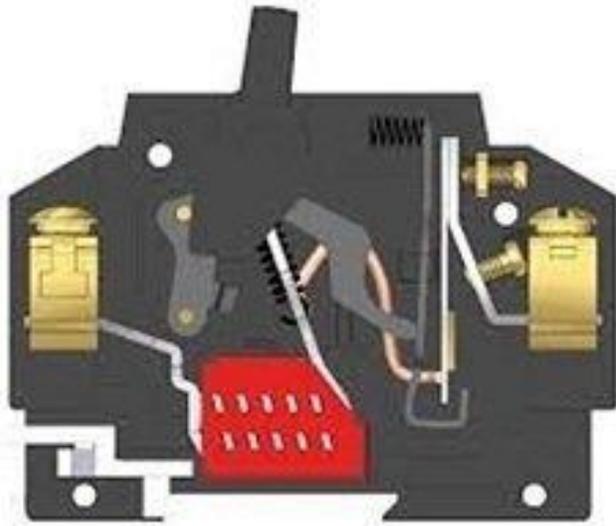
7) Eletroímã

8) Câmara de extinção de arco

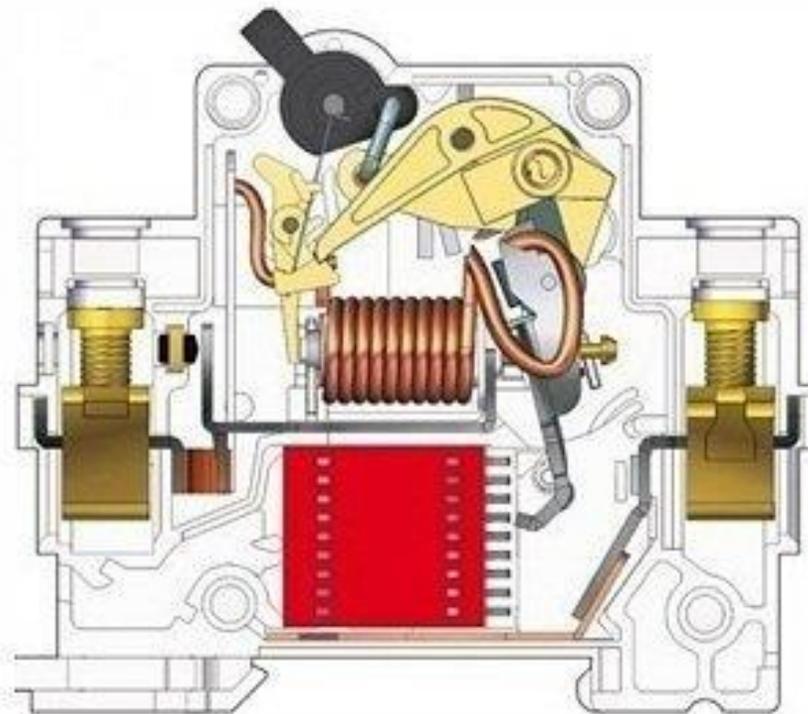
# Disjuntor termomagnético



# Disjuntor NEMA e DIN



Disjuntor NEMA



Disjuntor DIN

# Especificação de disjuntor

---

**Para selecionar um disjuntor adequado, deve ser considerados os seguintes aspectos:**

- Corrente nominal de operação;
- Capacidade de interrupção;
- Tensão nominal
- Frequência nominal
- Tipo de dispositivos (termomagnético, ajustável, etc.)

# Características do disjuntor

---

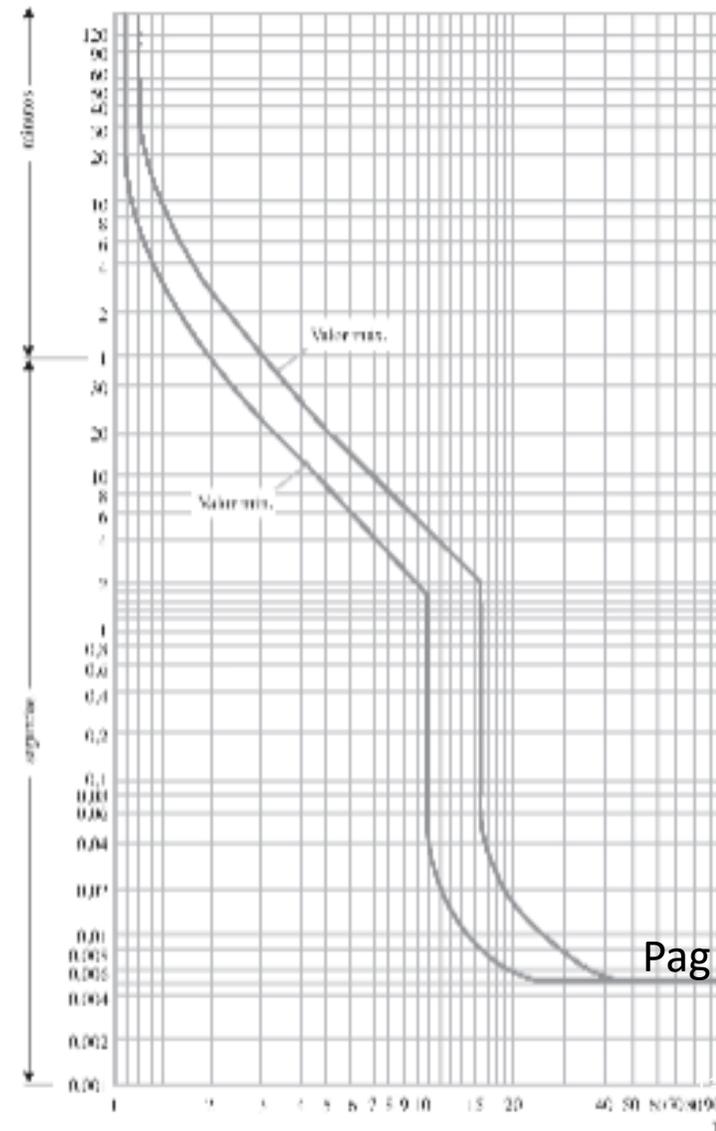
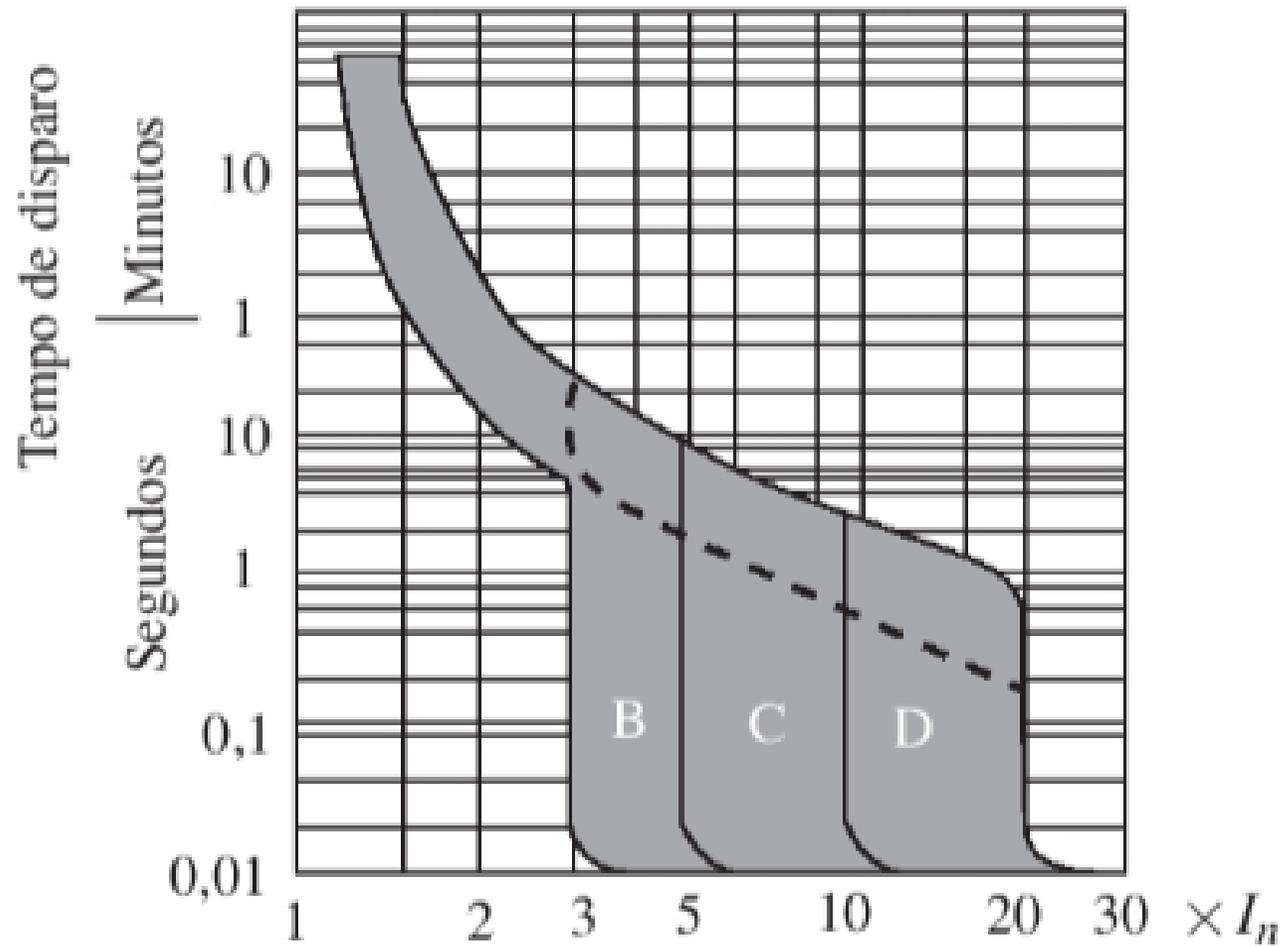
## Faixa de atuação instantânea:

**Curva B:** o valor da corrente nominal pode superar temporariamente entre  $3 I_N$  a  $5 I_N$  vezes. Aplicações de cargas resistivas puras (chuveiros, fornos, etc.).

**Curva C:** a corrente nominal pode chegar temporariamente entre  $5 I_N$  a  $10 I_N$ . Aplicações de uso geral e motores pequenos.

**Curva D:** a corrente nominal pode alcançar temporariamente entre  $10 I_N$  a  $20 I_N$  sem acionar o disjuntor. Aplicações de cargas indutivas, tais como grandes motores e transformadores.

# Características do disjuntor



# Proteção contra sobrecarga

---

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$
$$I_2 \leq 1,45 I_Z$$

Sendo:

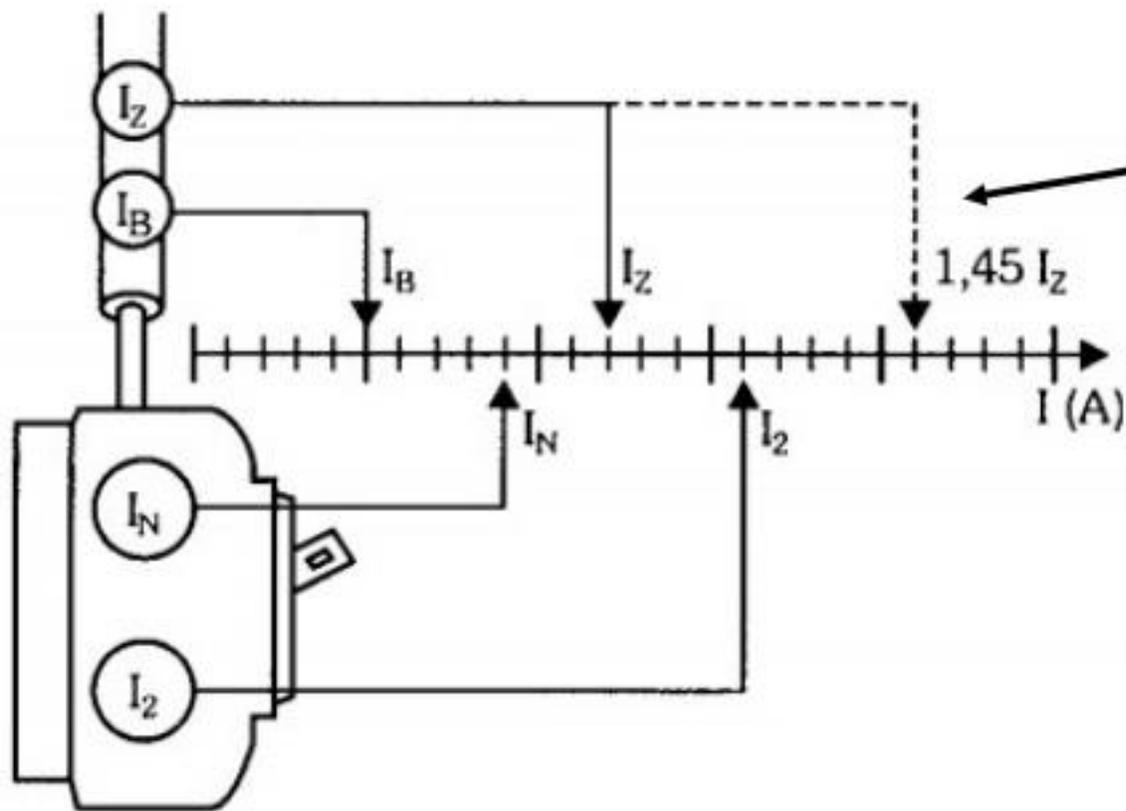
$I_B$  a corrente de projeto do circuito;

$I_N$  a corrente nominal do circuito;

$I_Z$  capacidade de condução dos condutores do circuito;

$I_2$  corrente convencional de atuação em função de  $I_N$ .

# Proteção contra sobrecarga



Deve atuar em no máximo 1h.

# Proteção contra curto-circuito

## Devem atender as seguintes condições:

1.  $I_{int} \geq I_{cc}$ : Capacidade de interrupção igual ou maior à corrente de curto-circuito;
2.  $\int i^2 dt \leq K^2 S^2$ : A integral de Joule que o dispositivo suporta, deve ser inferior ou igual a integral de Joule necessária para aquecer o condutor.

$I_{int}$ : corrente de interrupção;

$I_{cc}$ : corrente de curto-circuito;

$\int i^2 dt$ : integral de joule do disjuntor que deixa passar [Ampere<sup>2</sup> X segundo<sup>2</sup>]

$K^2 S^2$ : integral de joule de aquecimento do condutor desde a temp max do condutor até a  $I_{cc}$ .

$K = 115$ : Condutores isolados de PVC;

$S$ : Seção do condutor em mm<sup>2</sup>



# Proteção contra curto-circuito

---

Supondo que a corrente de curto-circuito não apresenta grandes assimetrias e de duração dentre  $0,1s < t < 5s$ :

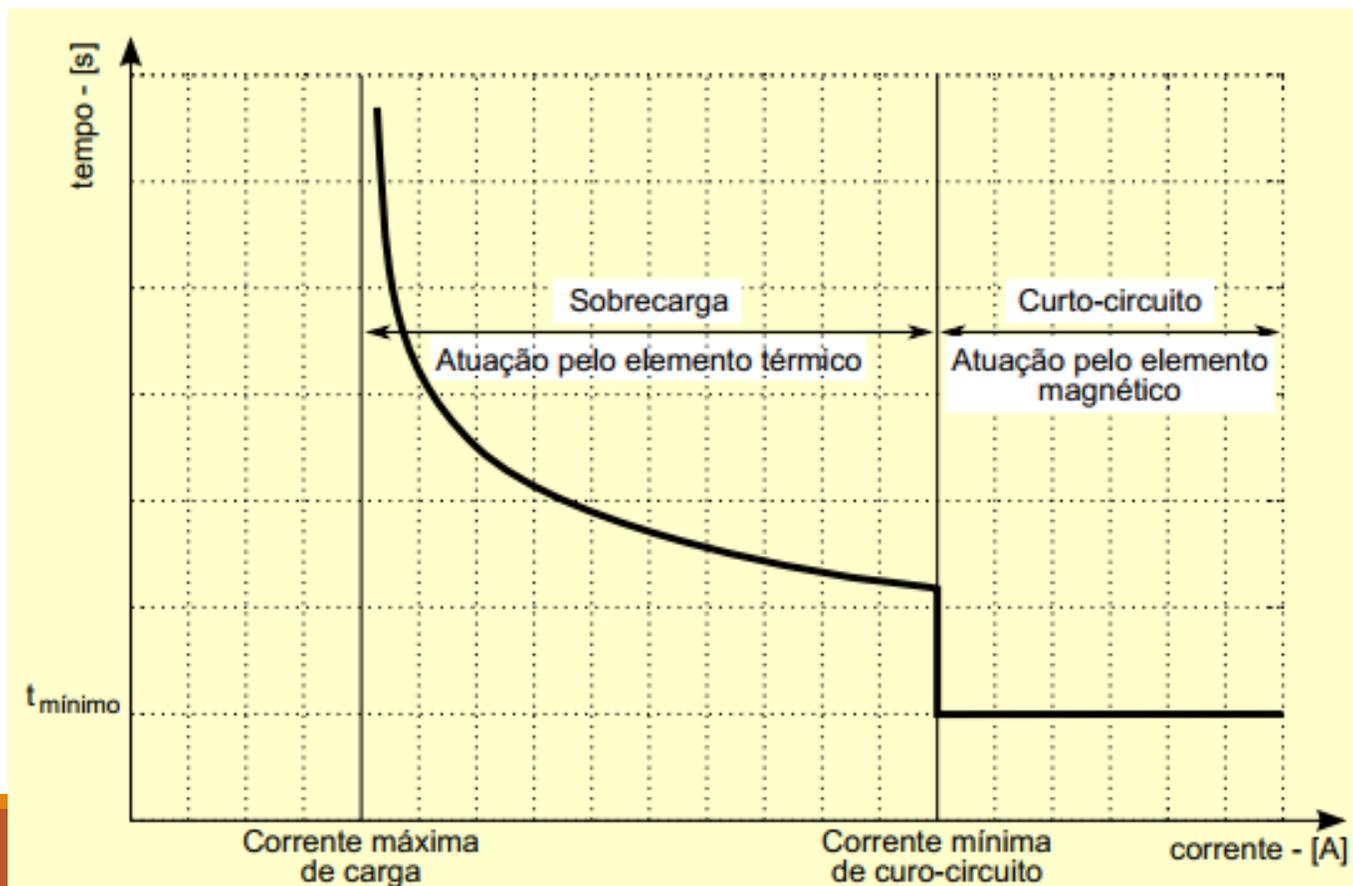
$$I_{CC}^2 \times t < K^2 S^2$$

$I_{CC}$ : corrente de curto-circuito, em A;

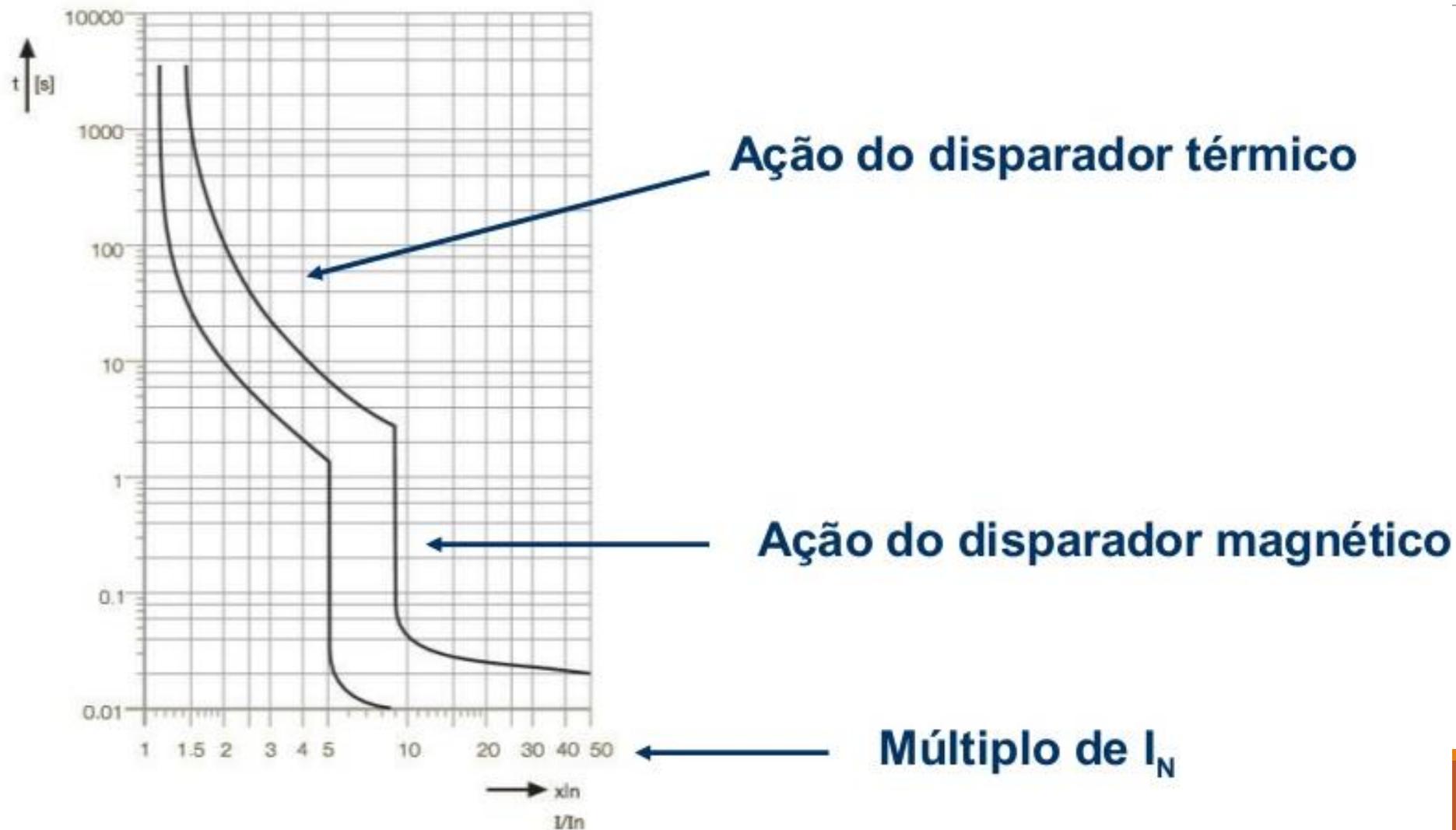
$t$ : duração do curto-circuito em segundos.

# Características dos disjuntores

## Tempo vs. Corrente

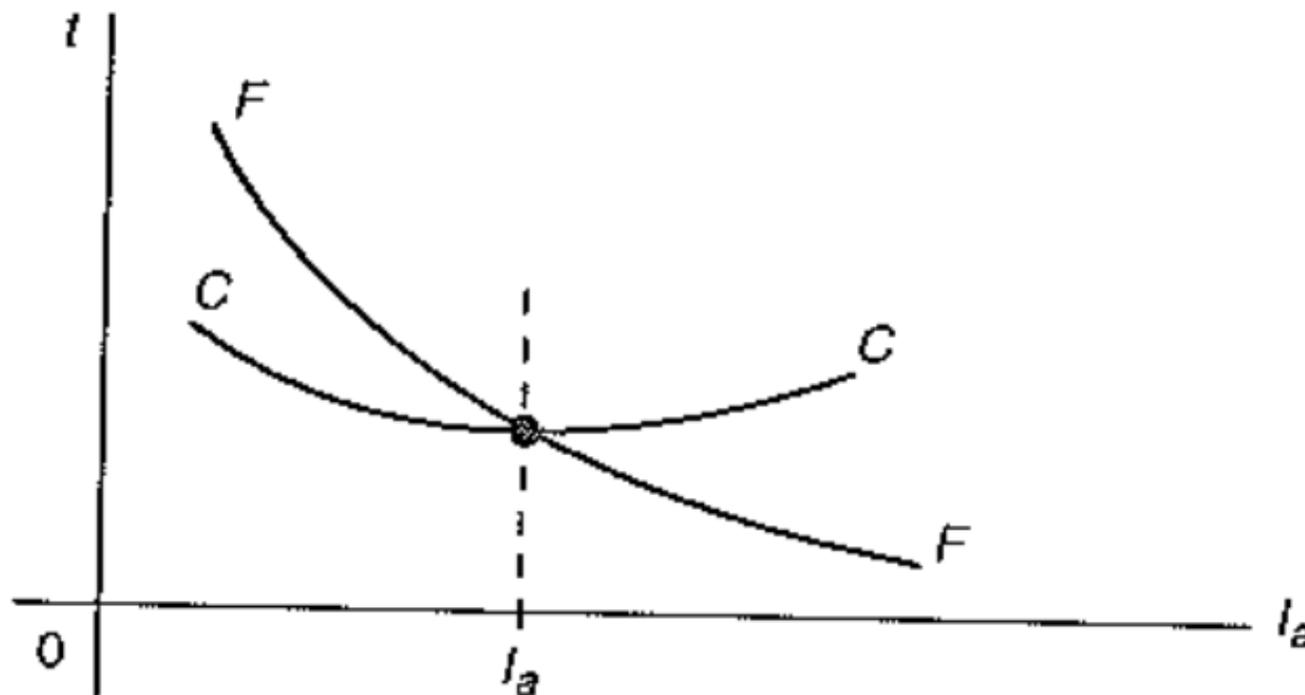


# Curva de atuação de disjuntor



# Seleção de dispositivos para proteção contra CC

Dispositivo fusíveis:  $I_a$  deve ser igual ou inferior a corrente de curto-circuito. C – corrente do condutor; F – curva do fusível;

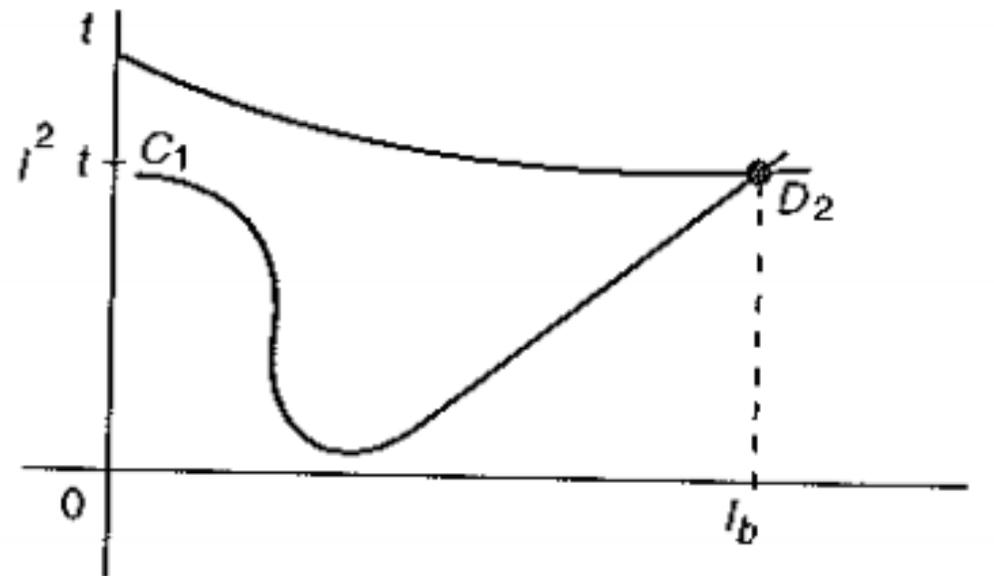
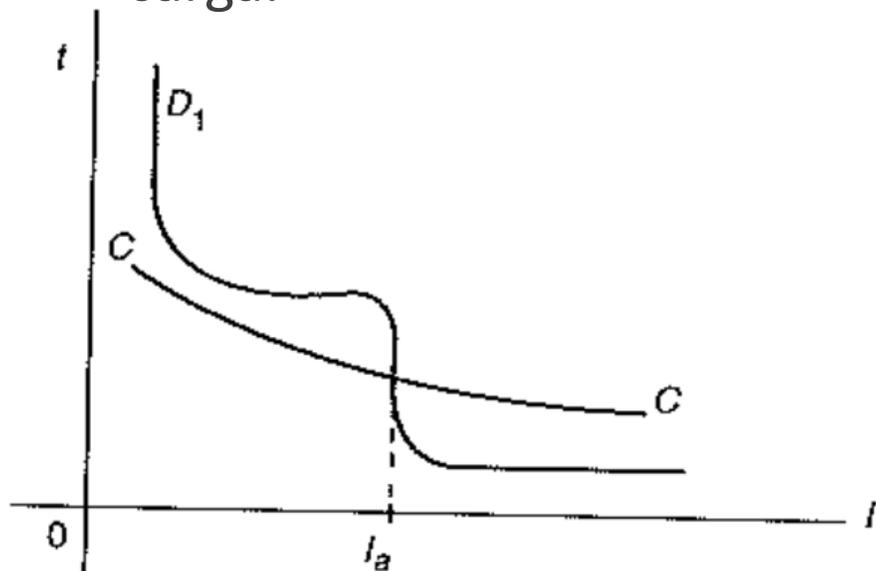


# Seleção de dispositivos para proteção contra CC

Para os disjuntores devem ser atendidas duas condições:

$I_a$  deve ser menor a corrente de curto-circuito mínima presumida.

$I_b$  deve ser no mínimo igual a corrente de curto-circuito presumida no ponto da carga.



# Corrente de CC presumidas

Devem ser determinadas no ponto de instalação do disjuntor:

Para 220/127 V:

$$I_k = \frac{12,7}{\sqrt{\frac{162}{I_{k_0}^2} + \frac{57 \times \cos \phi_{k_0} \times l}{I_{k_0} \times S} + \frac{5l^2}{S^2}}}$$

Para 380/220 V:

$$I_k = \frac{22}{\sqrt{\frac{484}{I_{k_0}^2} + \frac{100 \times \cos \phi_{k_0} \times l}{I_{k_0} \times S} + \frac{5l^2}{S^2}}}$$

Onde:

$I_k$ : corrente de CC presumida (em kA);

$I_{k_0}$ : corrente de CC presumida a montante em kA (tabela 1);

$\cos \phi_{k_0}$ : fator de potencia de CC aproximado (tabela 2);

$l$ : comprimento do circuito (em metros);

$S$ : seção do condutor (em mm<sup>2</sup>).

# Corrente de CC presumidas

Tabela 1: Corrente de curto-circuito presumida na montante (secundário do transformador trifásico)

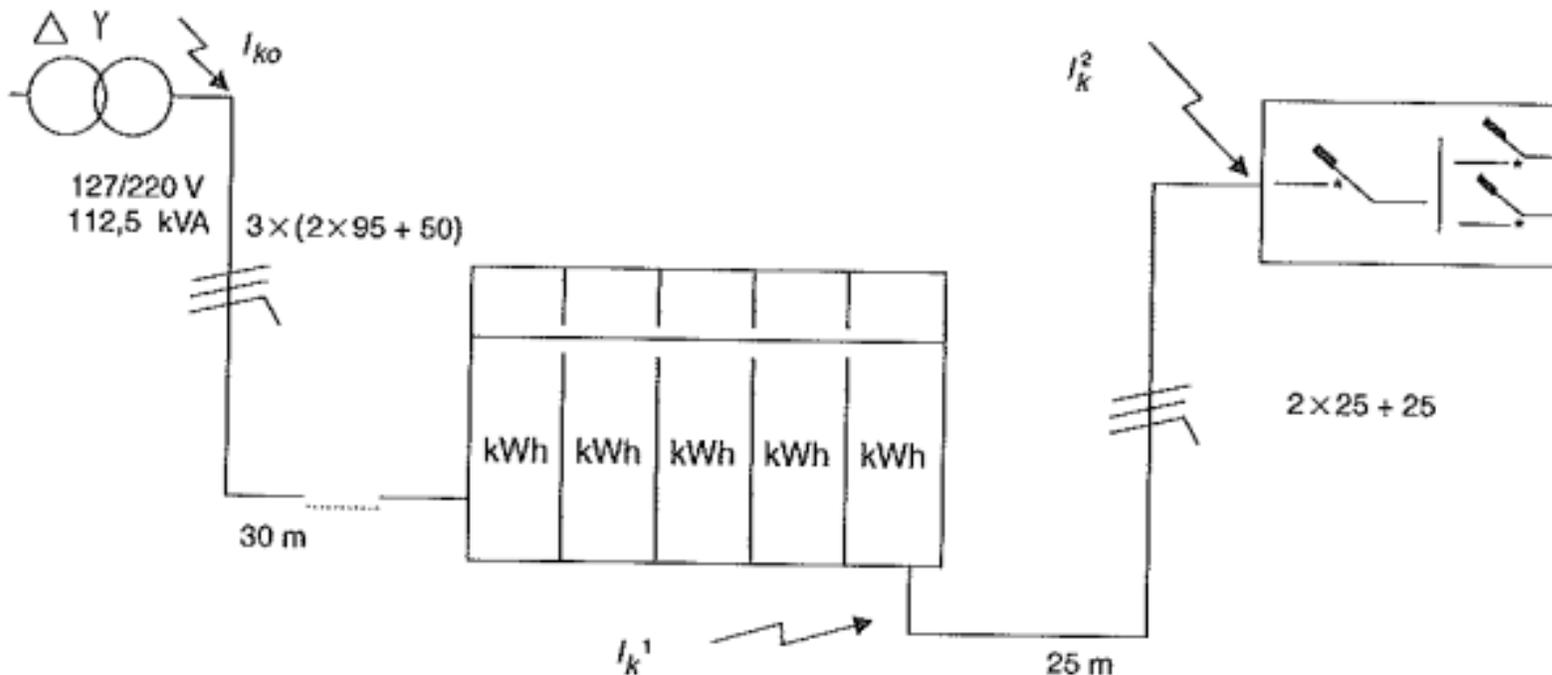
Potência do Transformador (kVA)	$I_k$ (kA)	
	127/220 V	220/380 V
15	1,12	0,65
30	2,25	1,30
45	3,37	1,95
75	5,62	3,25
112,5	8,44	4,88
150	11,25	6,51
225	13,12	7,59
300	17,50	10,12
500	26,24	15,19
750	39,36	22,78
1 000	52,49	30,37

Tabela 2: Fator de potência aproximado

$K_o$ (kA)	1,5 a 3	3,1 a 4,5	4,6 a 6	6,1 a 10	10,1 a 20	Acima de 20
$\text{Cos } \phi_{ko}$	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0,25

# Exemplo de cálculo de CC

Pagina 112 (125 do pdf), Helio Creder, 15ª edição.



# Coordenação e seletividade da proteção

---

## Combinações de seletividade:

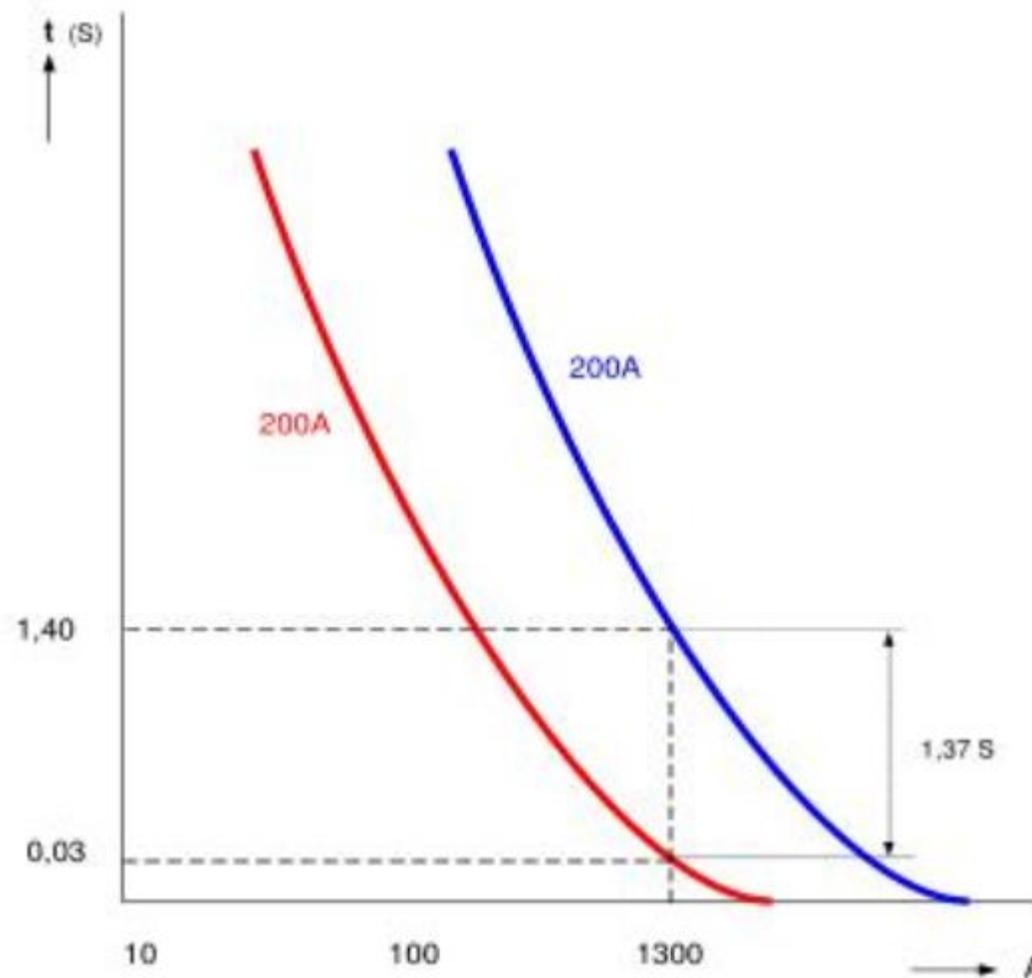
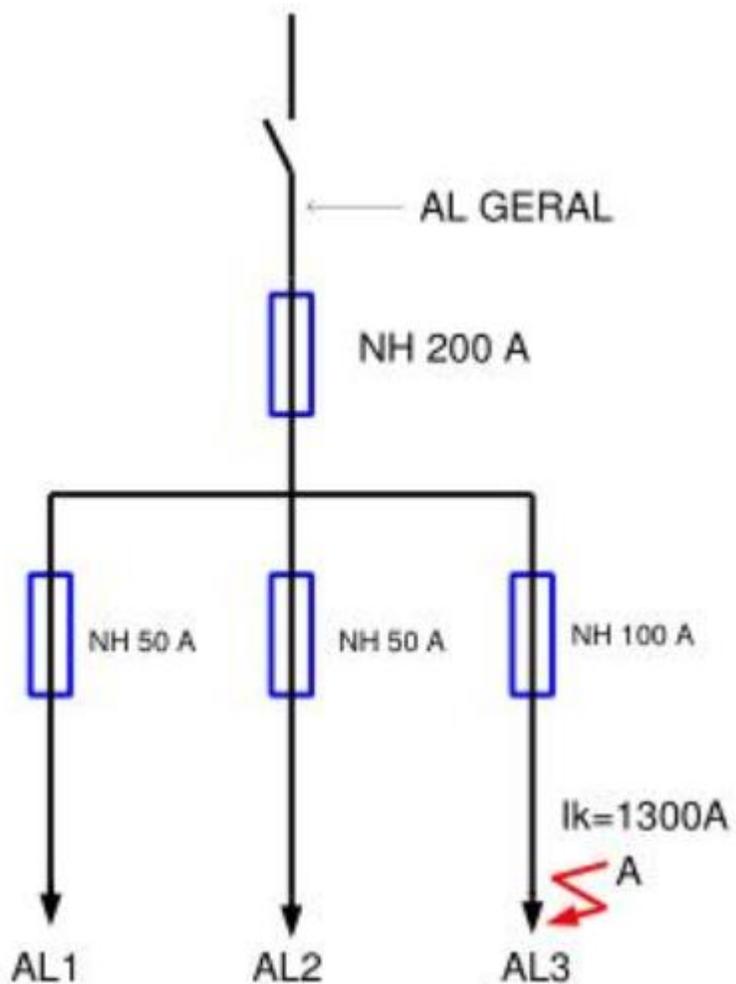
- Fusível em serie com fusível;
- Disjuntores em serie entre si;
- Disjuntor em serie com fusível;
- Fusível em serie com disjuntor;

# Seletividade: Fusível com fusível

---

- Fusíveis são dispositivos de proteção contra sobrecargas e curto-circuito;
- O ramal de alimentação geral, normalmente possui uma corrente diferente dos ramos parciais;
- Os condutores possuem correntes seções diferentes em diferentes ramos;
- Fusíveis em série, adequadamente escolhidos, tem o **COMPORTAMENTO SELETIVO NATURAL**.

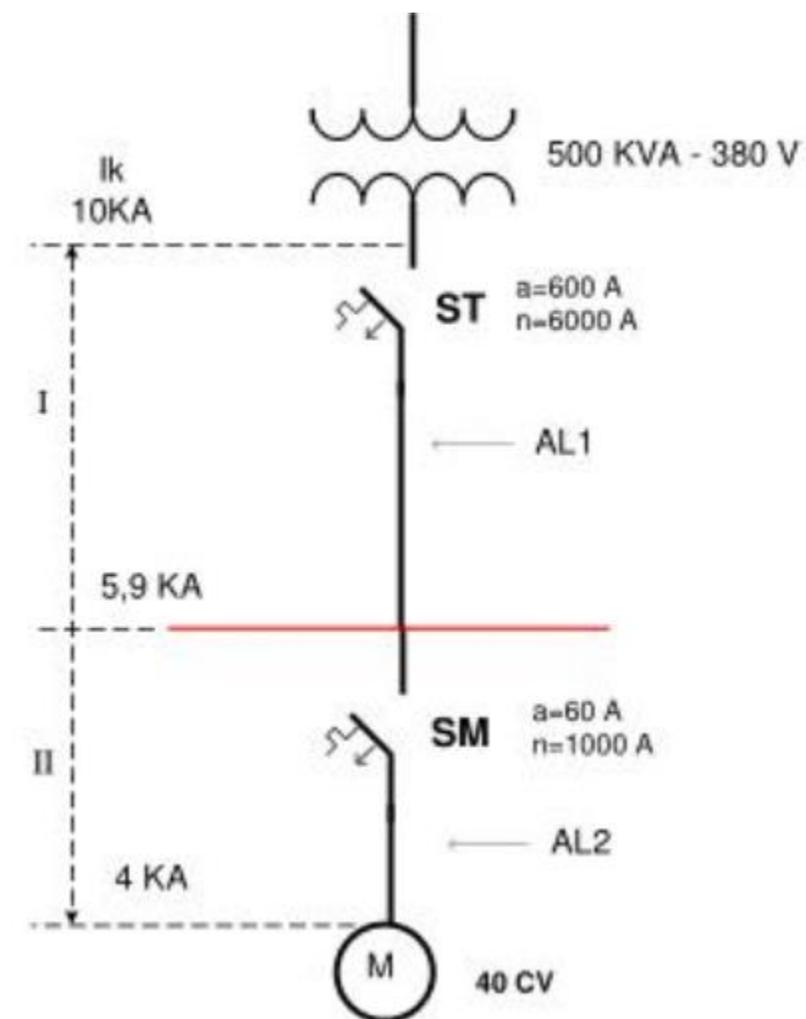
# Seletividade: Fusível com fusível



# Seletividade: disjuntor com disjuntor

## ■ ESCALONAMENTO DAS CORRENTES DE ATUAÇÃO;

- Somente é possível quando as **correntes de curto-circuito** no local de instalação são suficientemente **diferentes**.
- A corrente de desligamento do disjuntor ST deve ser ligeiramente superior ao valor máximo admissível pelo disjuntor SM.



# Seletividade: disjuntor com disjuntor

Se a diferença da corrente de curto-circuito dos disjuntores termomagnéticos entre o local do defeito e a alimentação geral é pequena, a seletividade é somente obtida através do retardo nos tempo de atuação do relé magnético;

O escalonamento entre dispositivos deve ser pelo menos de **150 ms**.

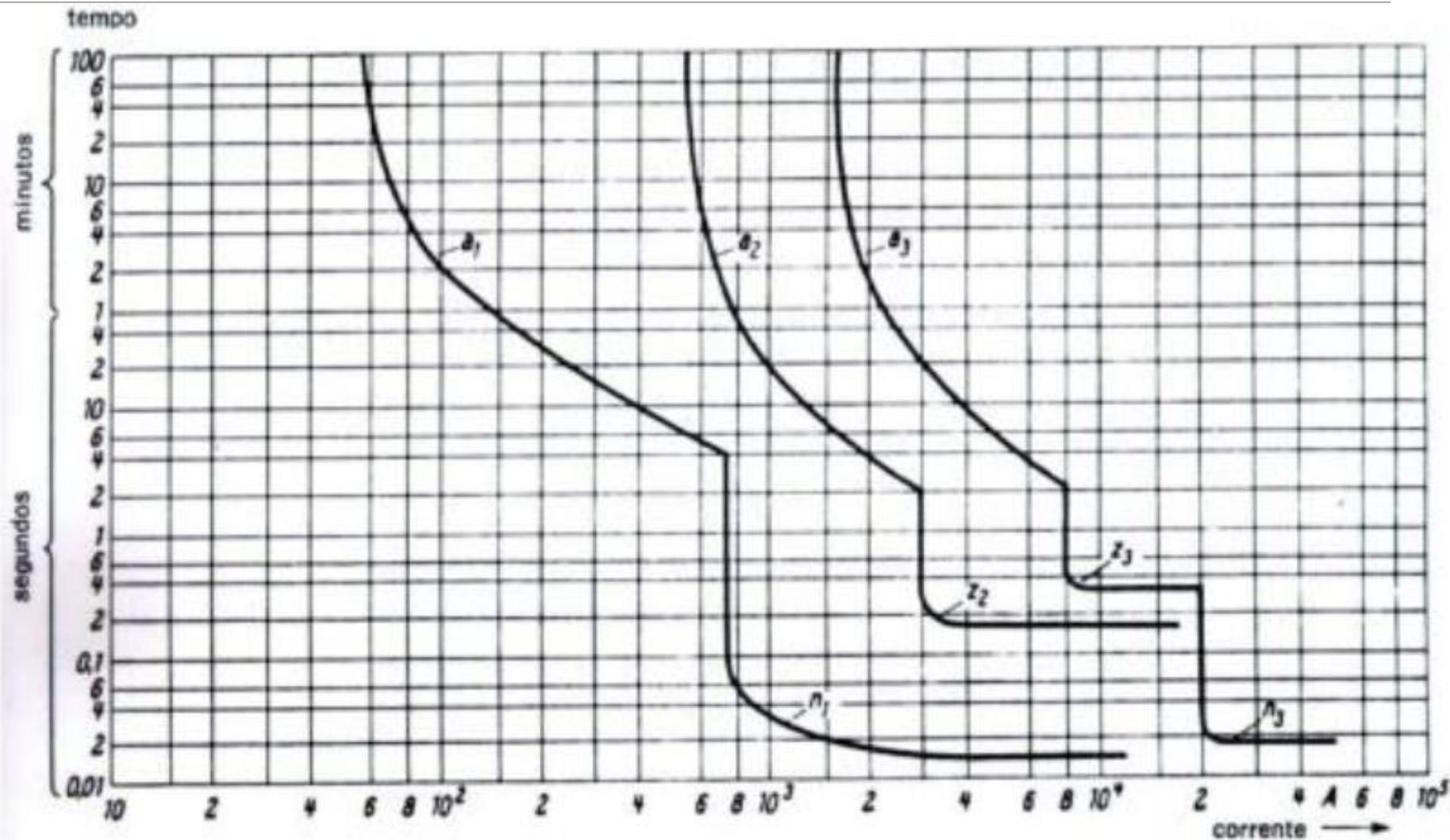
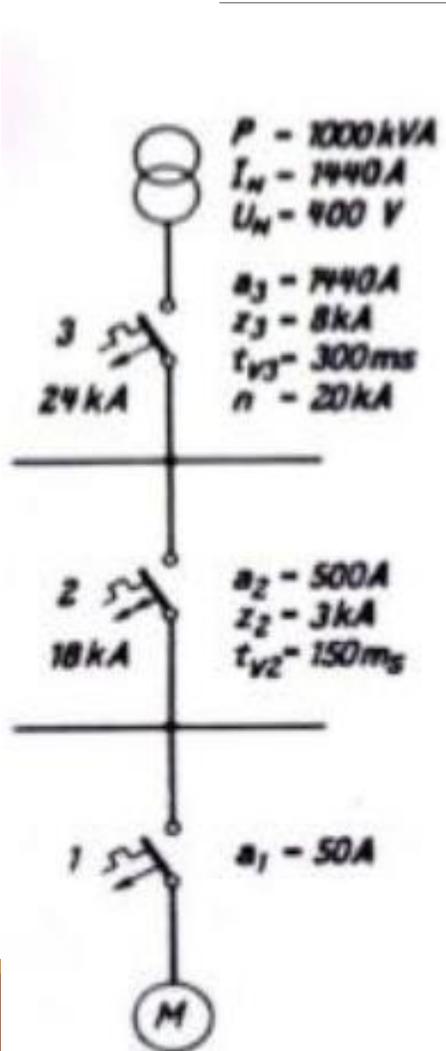


# Seletividade: disjuntor com disjuntor

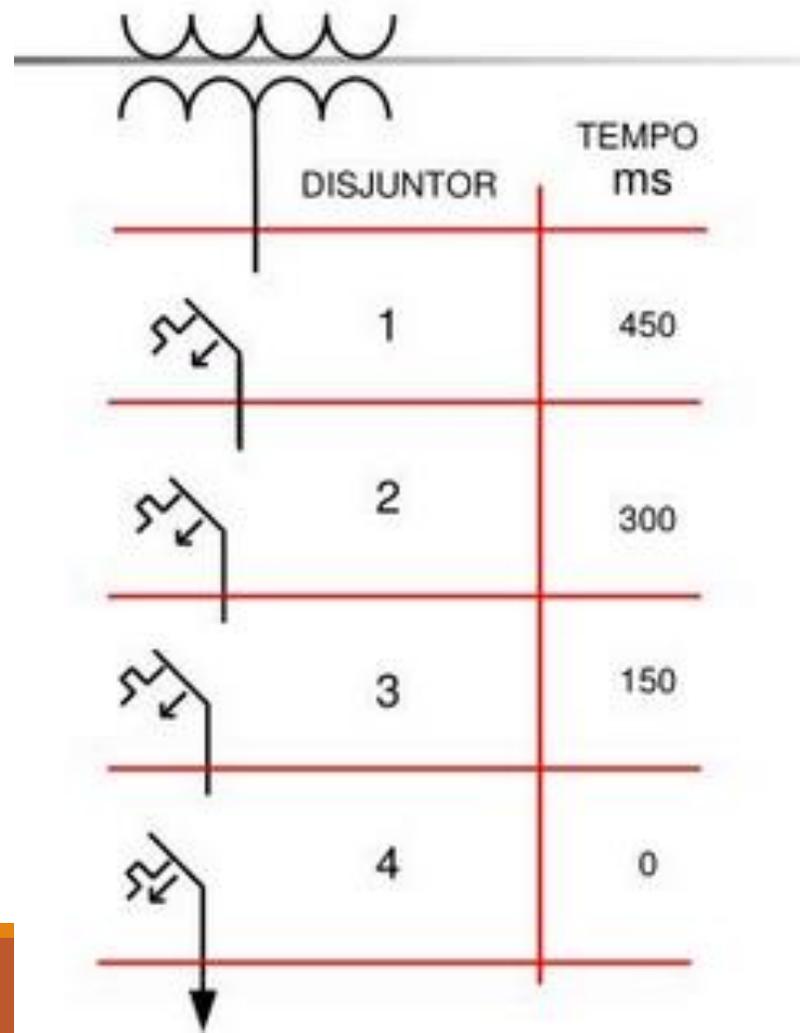
---

- Seletividade entre dispositivos contra sobrecarga “a”, com curva de tempo inverso;
- Seletividade contra curto-circuito com curto-retardo no tempo “z” (seletivo);
- Proteção contra curto circuito “n” (instantânea);

# Seletividade: disjuntor com disjuntor



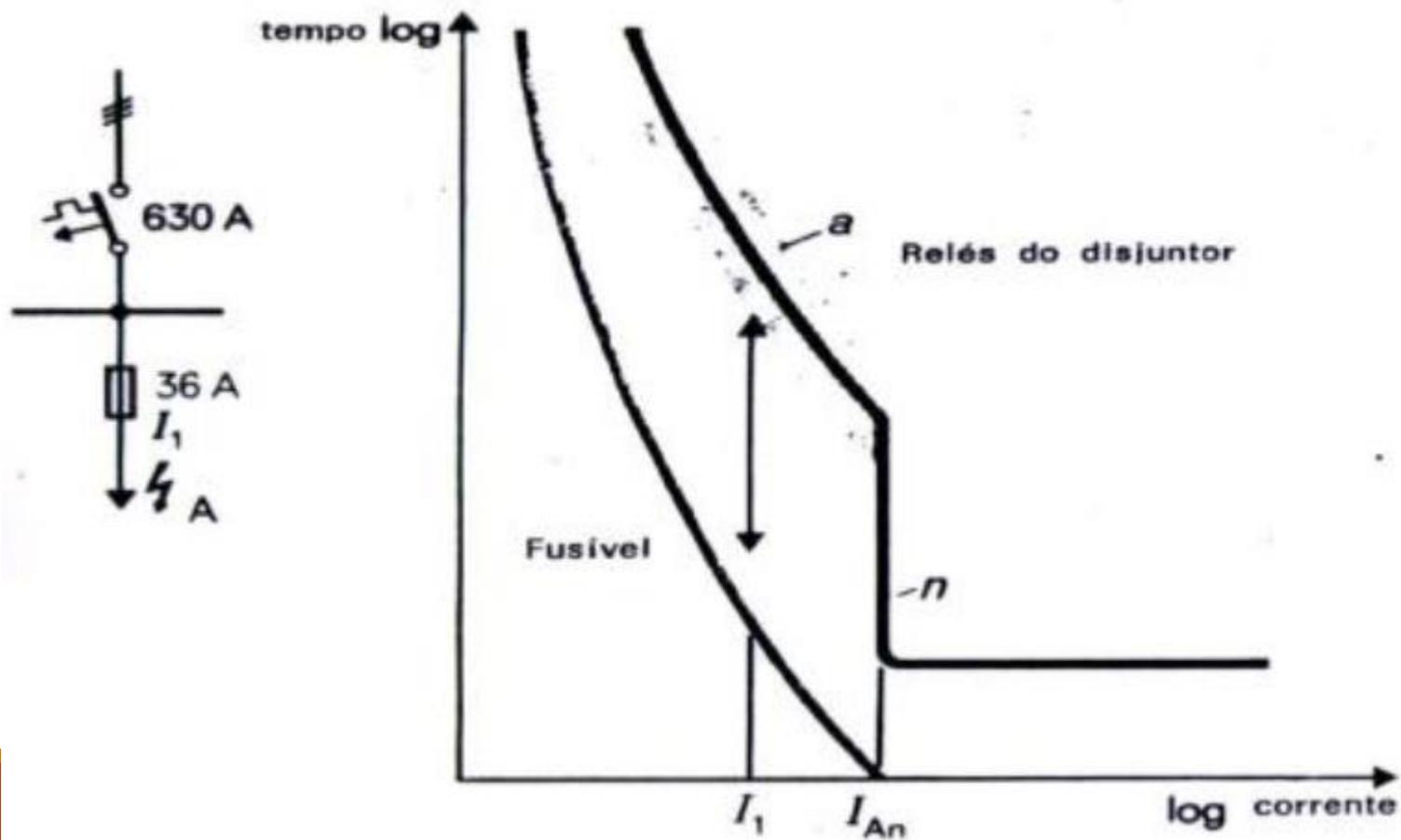
# Seletividade: disjuntor com disjuntor



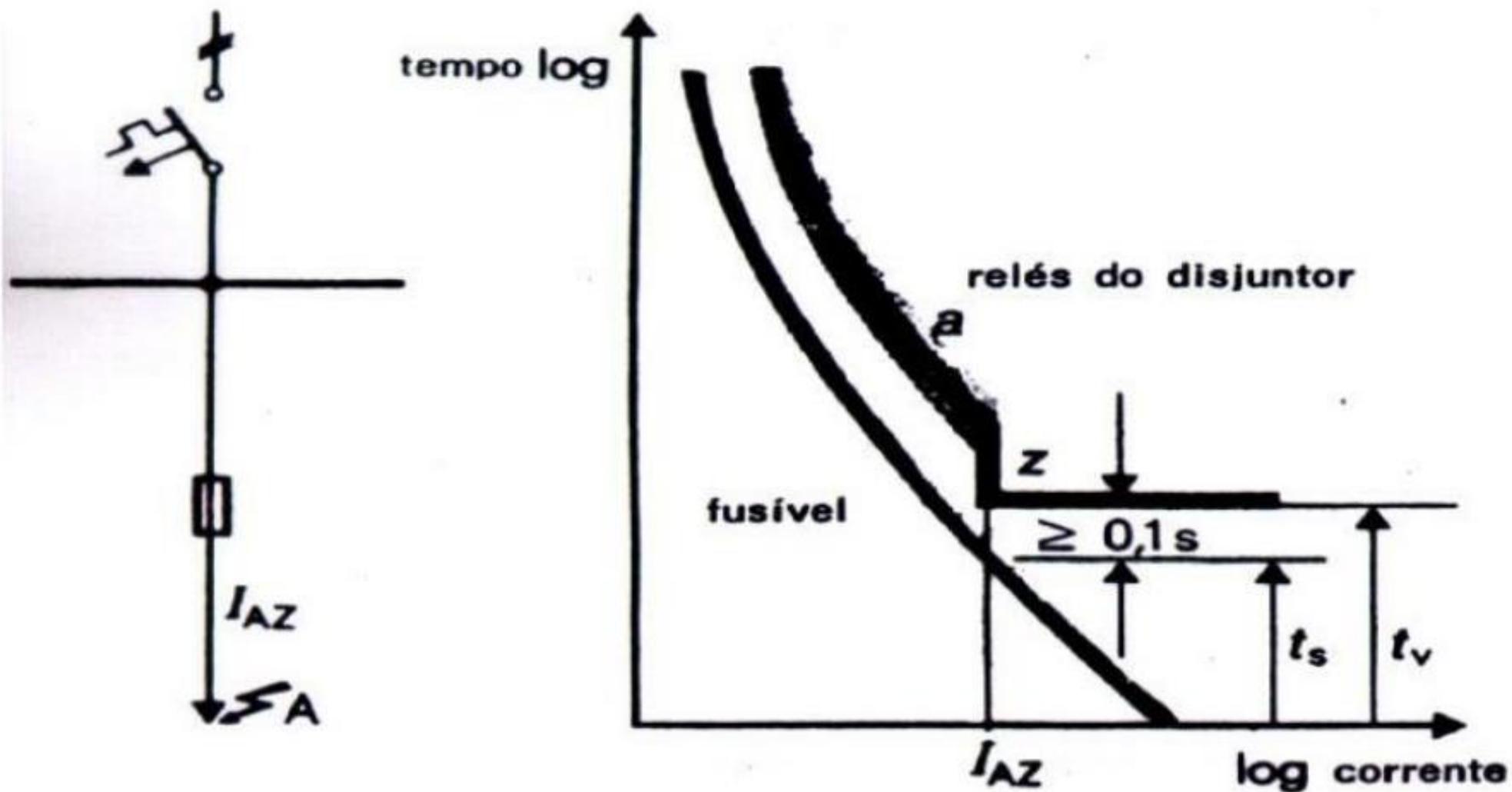
# Seletividade: disjuntor com fusível

**Sobrecarga:** é garantida, quando a curva de atuação térmica do disjuntor não corta a curva do fusível;

**Curto-circuito:** é garantida, se o tempo de retardo magnético do disjuntor for ao menos 100 ms acima da curva do fusível.

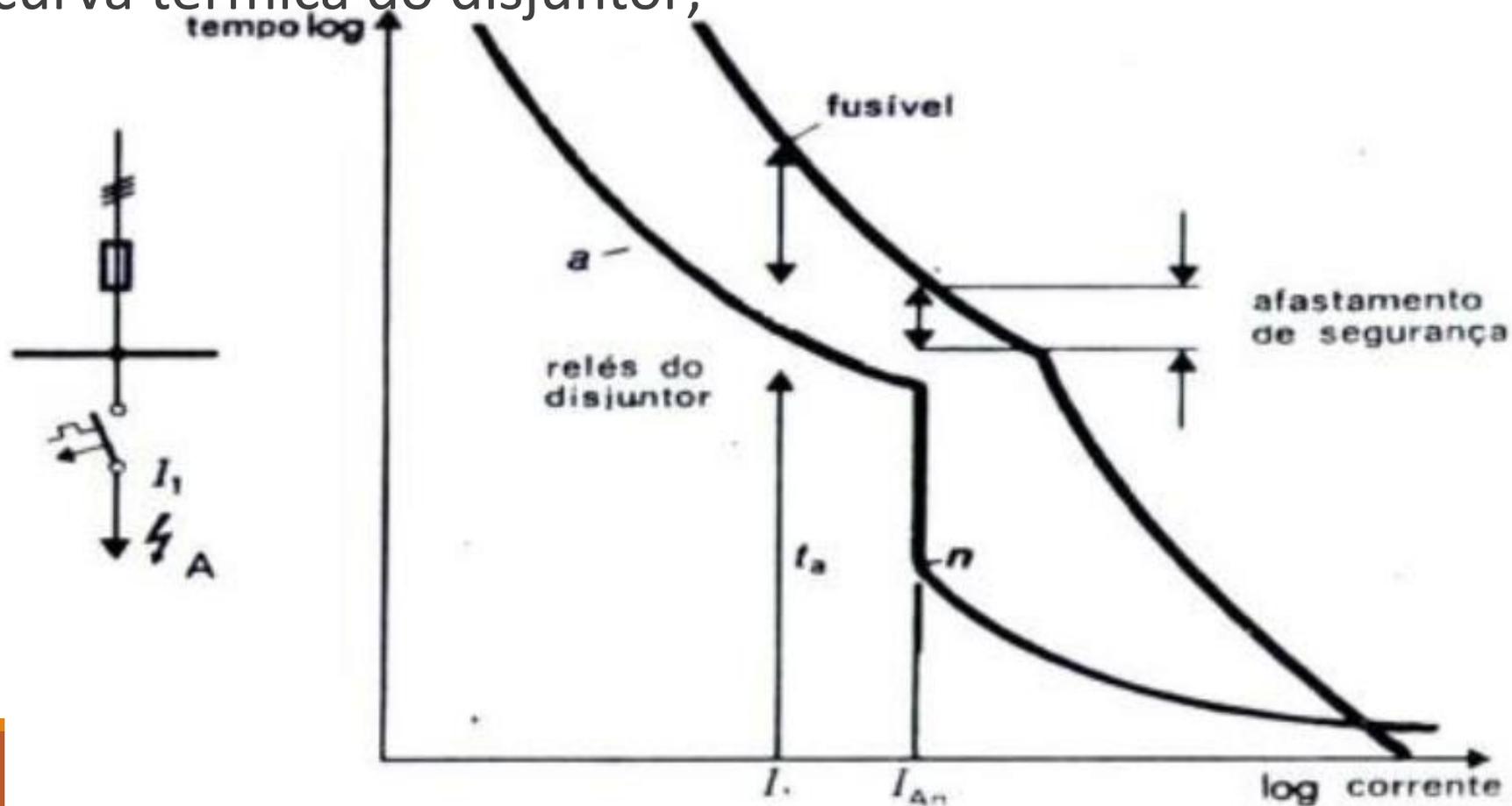


# Seletividade: disjuntor com fusível



# Seletividade: Fusível com disjuntor

**Sobrecarga:** é garantida, quando a curva de desligamento do fusível não corta a curva térmica do disjuntor;



# Seletividade: Fusível com disjuntor

**Curto-circuito:** é garantida, se as características do fusível se manter 50 ms acima da curva magnética de CC do disjuntor.

