



Universidade Federal do Espírito Santo
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Elétrica
Prof. Hélio Marcos André Antunes

Unidade 4: Proteção em Instalações Elétricas – Aula 09

Instalações Elétricas I
Engenharia Elétrica

4.3.2- Dimensionamento DTM: Proteção contra Sobrecarga

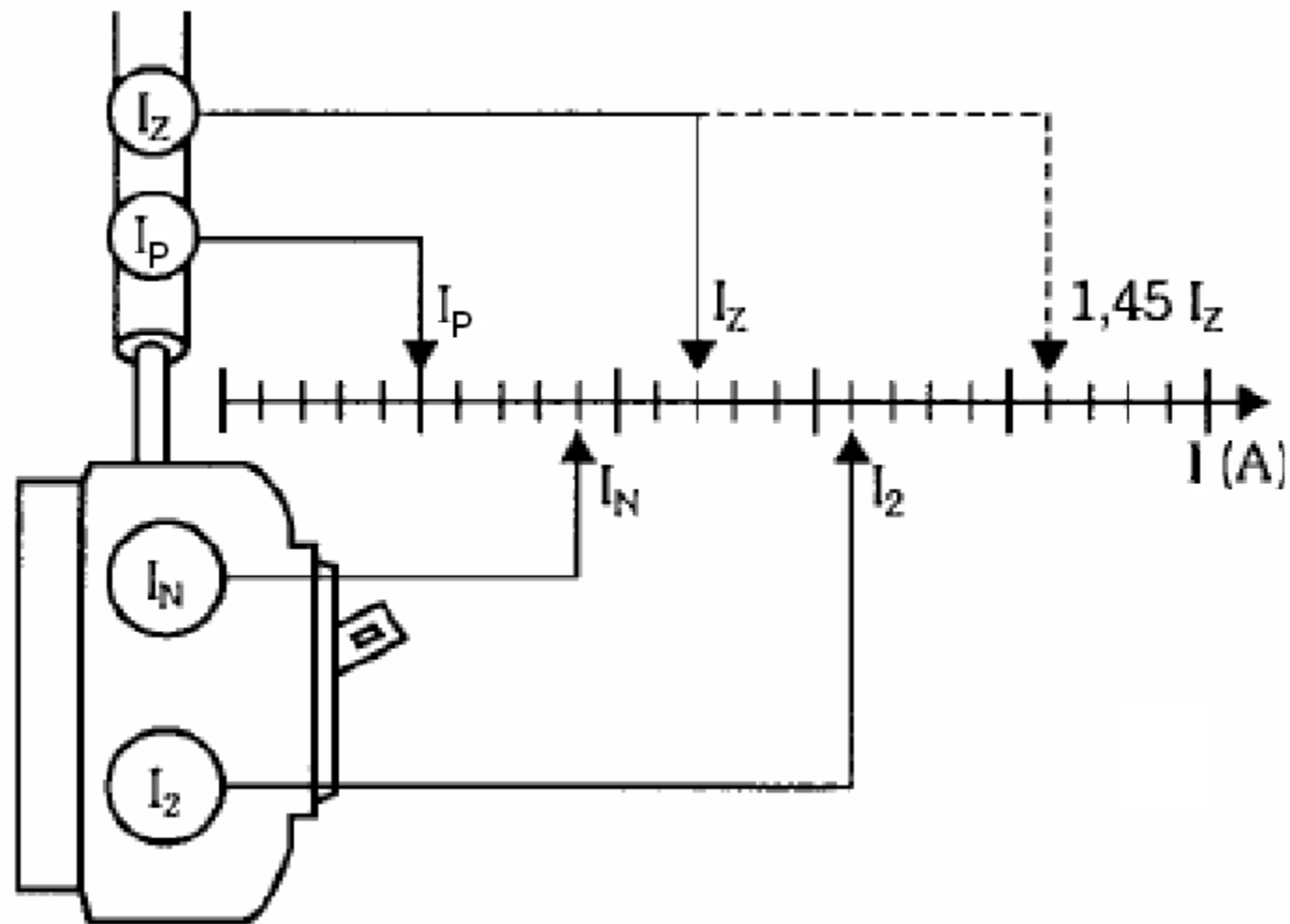
- Para que haja uma perfeita coordenação entre o dispositivo de proteção e os condutores, as seguintes condições devem ser satisfeitas:

$$(a) \quad I_p \leq I_n \leq I_z \quad (b) \quad I_2 \leq 1,45 \times I_z$$

- I_p - Corrente de projeto;
 - I_n - Corrente nominal do dispositivo de proteção;
 - I_z - Capacidade de condução de corrente dos condutores;
 - I_2 - Corrente que assegura efetivamente a atuação do dispositivo de proteção.
- A condição (b) é praticável quando for possível assumir que a temperatura limite de sobrecarga dos condutores, não seja mantida por um tempo superior a mais de 100h durante 12 meses consecutivos ou por 500h ao longo da vida do condutor. Caso contrário:

$$I_2 \leq I_z$$

Proteção contra Sobrecarga



Proteção contra Curto-Circuito

- Primeira condição:
 - O disjuntor deve possuir uma capacidade de ruptura superior a corrente de curto-circuito no ponto de sua instalação (I_k).
 - $I_{CS} > I_k$
- Segunda condição:

$$\int_0^t i^2 dt \leq k^2 S^2$$

$\int_0^t i^2 dt$ é a integral Joule (Energia por unidade de resistência J/Ω) que o disjuntor deixa passar.

$k^2 S^2$ é a integral de Joule (energia) capaz de elevar a temperatura do condutor desde a temperatura de serviço contínuo até a temperatura de curto-circuito.

Proteção contra Curto-Circuito

- Segunda condição:
 - Para faltas de qualquer duração em que a assimetria não seja significativa e para faltas assimétricas (não envolvem as três fases ou três fases e neutro) com duração de $0,1 < t < 5\text{s}$, pode-se escrever:

$$I^2 t \leq k^2 S^2 \longrightarrow t \leq \frac{K^2 S^2}{I^2}$$

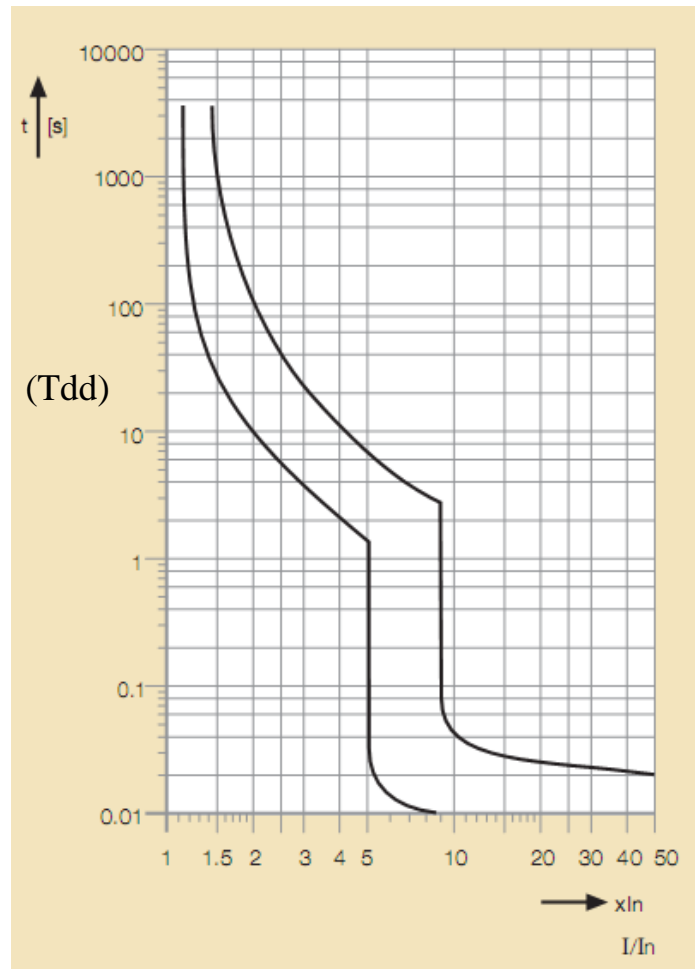
- t: duração do curto-circuito em segundos;
 - I: Corrente de curto-circuito, em A;
 - S: Seção nominal do condutor em mm^2 ;
 - K: Fator ligado ao tipo de metal do condutor e da isolação, fornecido pela NBR 5410/2004 (Valor tabelado).
- A proteção deve atuar em até um tempo igual a:

$$T_{dd} \leq t$$

T_{dd} : é o tempo (s) que o dispositivo deve atuar para uma corrente de curto-circuito I.

Curva de Atuação

- Caso o tempo de atuação do disjuntor (T_{dd}) seja inferior ou igual ao tempo (t) estabelecido pela Integral de Joule, o condutor suportará a falta.



Proteção contra curto-circuito

- A NBR 5410/2004 define o parâmetro K:

Tabela 30 — Valores de k para condutores com isolamento de PVC, EPR ou XLPE

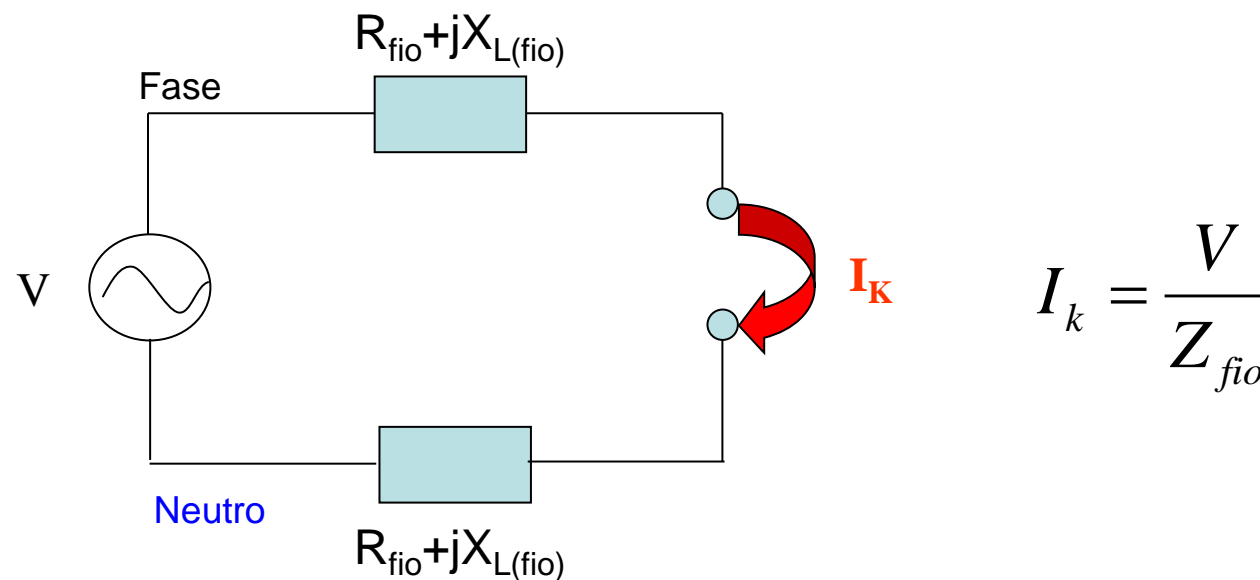
Material do condutor	Isolação do condutor					
	PVC				EPR/XLPE	
	≤ 300 mm ²		> 300 mm ²			
	Temperatura					
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
	70°C	160°C	70°C	140°C	90°C	250°C
Cobre	115		103		143	
Alumínio	76		68		94	
Emendas soldadas em condutores de cobre	115		—		—	
NOTAS						
1 Outros valores de k, para os casos mencionados abaixo, ainda não estão normalizados: — condutores de pequena seção (principalmente para seções inferiores a 10 mm ²); — curtos-circuitos de duração superior a 5 s; — outros tipos de emendas nos condutores; — condutores nus.						
2 Os valores de k indicados na tabela são baseados na IEC 60724.						

Tab. 8 – Máxima solicitação térmica admissível nos condutores (k^2S^2), em A²s – Condutores de cobre com isolação de PVC/70°C

Seção dos condutores mm ²	k^2S^2 (A ² s) x 10 ³
1,5	29,7
2,5	82,6
4	211,6
6	476,1
10	1 322,5
16	3 385,6
25	8 265,6
35	16 200,6
50	33 062,5

4.3.1.1- Determinação da Corrente de Curto-Circuito

- O que é um curto-circuito (falta) ?
- Exemplo: Falta Fase-Neutro



- Existem diversos tipo de faltas:
 - Faltas monofásicas (Fase-Neutro, Fase-Terra)
 - Falta bifásica (Fase-Fase, Fase-Fase-Terra)
 - Falta trifásica (Fase-Fase-Fase)

Curto-Circuito em Instalações Residenciais

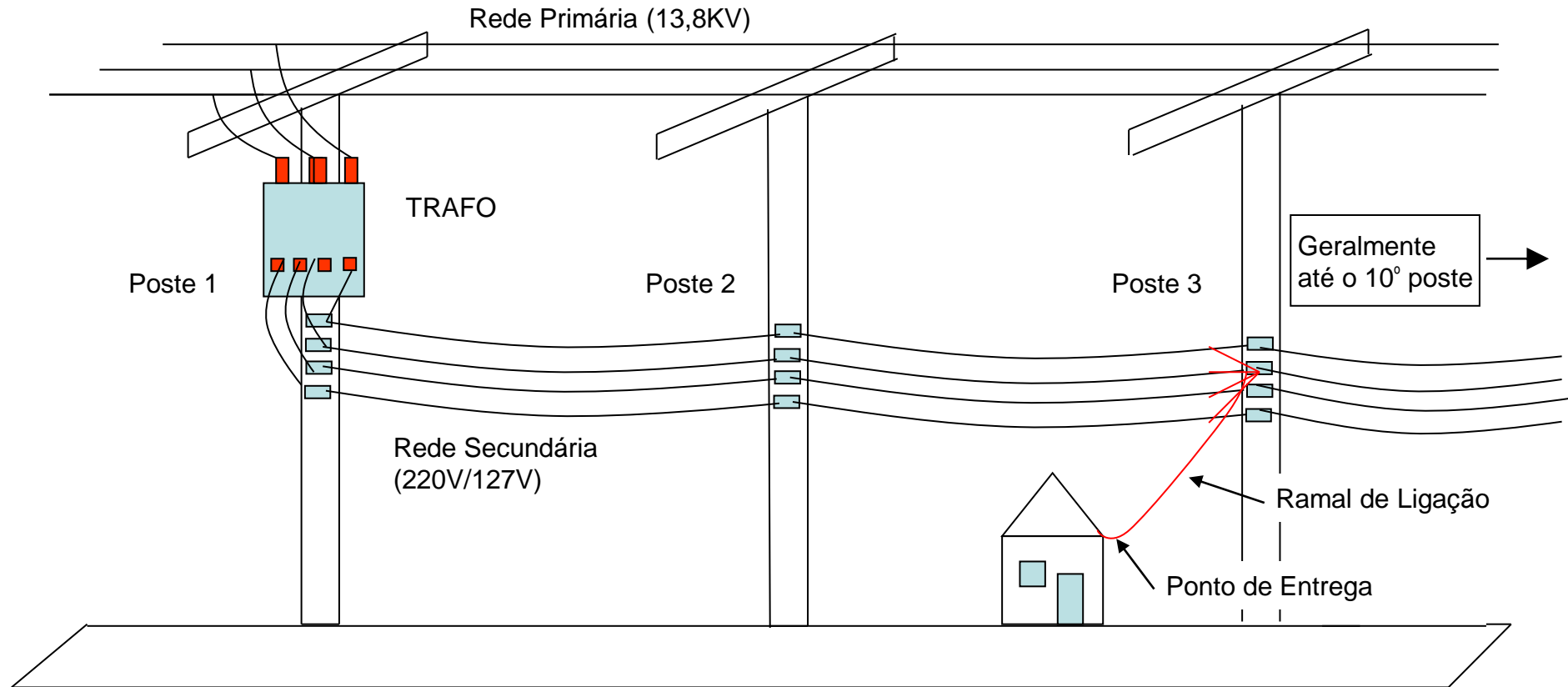
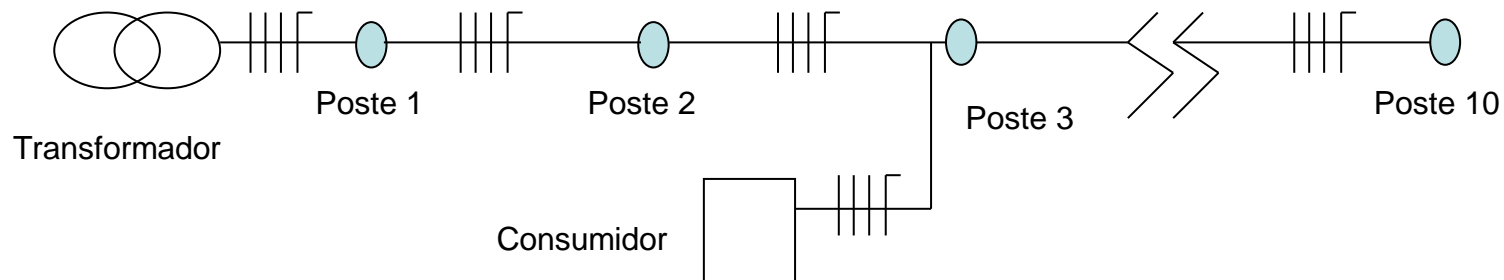
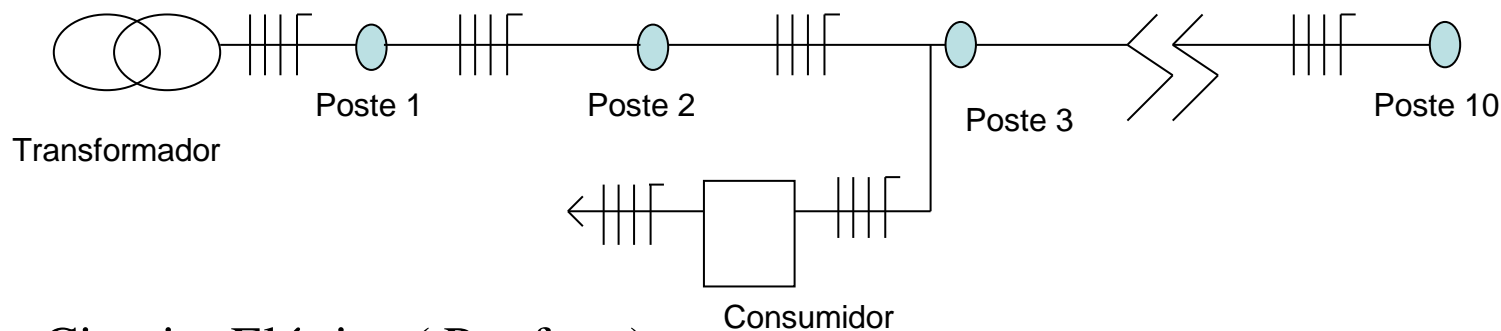


Diagrama Unifilar

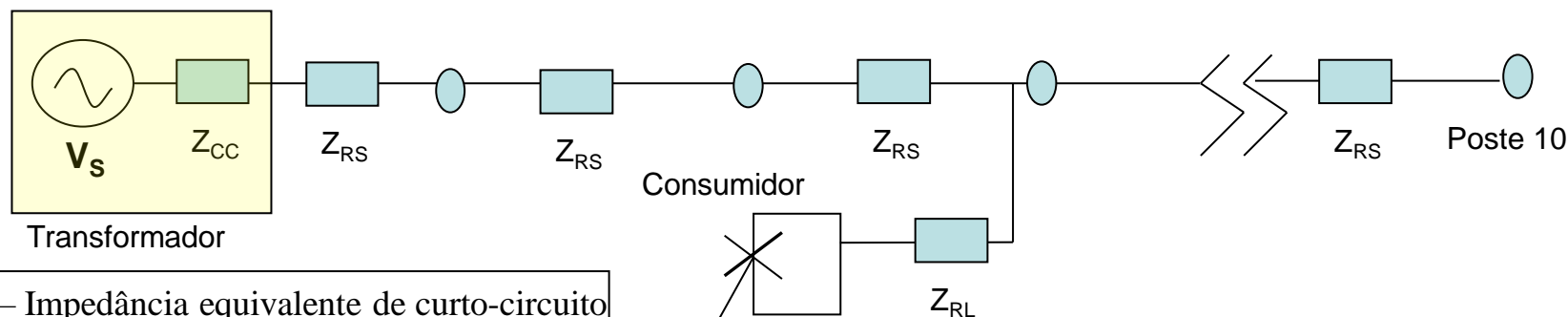


Curto-Circuito em Instalações Residenciais

Diagrama Unifilar



Circuito Elétrico (Por fase)



Z_{CC} – Impedância equivalente de curto-circuito do transformador

Z_{RS} – Impedância da Rede de Distribuição Secundária

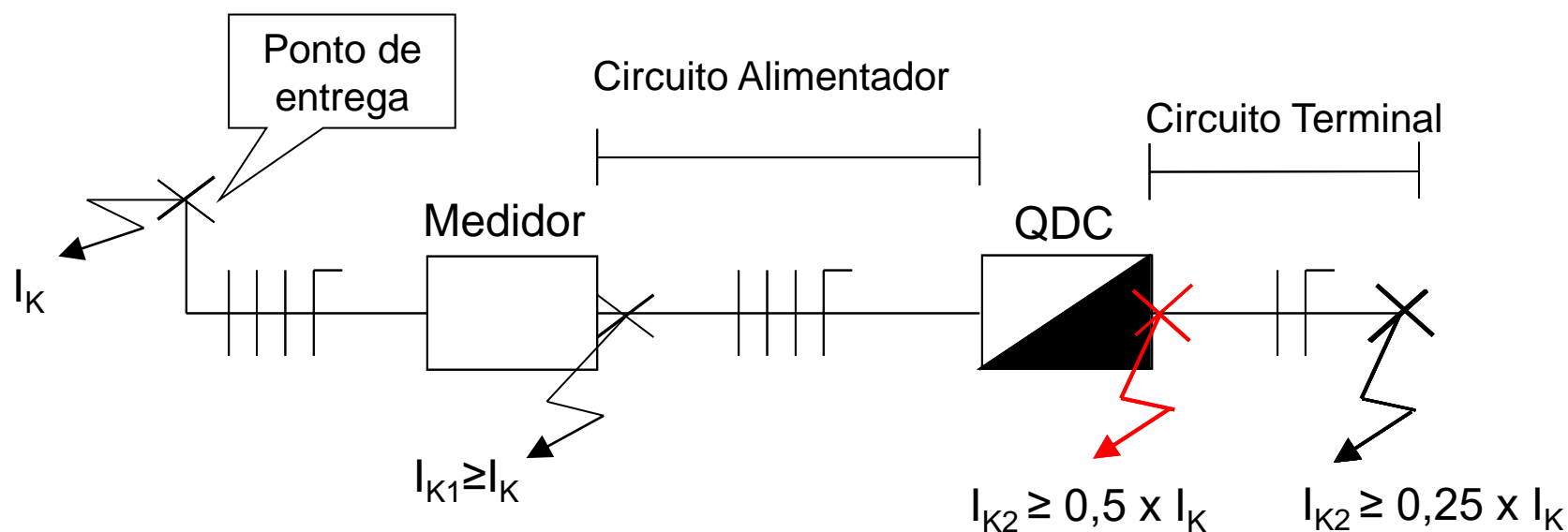
Z_{RL} – Impedância do Ramal de Ligação

$$I_k = \frac{V_s}{Z_{CC} + Z_{RS}' + Z_{RL}}$$

Qual a corrente de curto-circuito (fase-neutro) na saída do medidor?

Curto-Circuito em Instalações Residenciais

- A corrente de falta (I_k) no ponto de entrega é fornecido pela concessionária de energia elétrica.

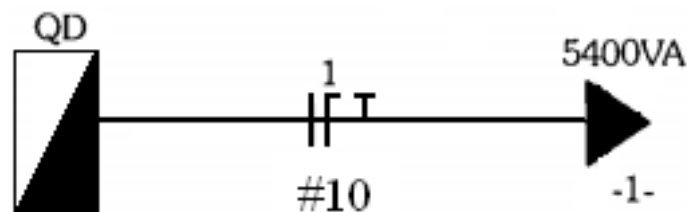


- Disjuntor geral do medidor: $I_{cs} \geq I_k$
- Disjuntor dos circuitos terminais (QDC): $I_{cs} \geq 0,5 I_k$
- (Fonte: Guia NBR 5410)

Exemplos de Dimensionamento

Exemplo 4.1) Dimensione o disjuntor para proteção do circuito terminal de um chuveiro, com as seguintes características:

- $S = 5400 \text{ VA}$, $V = 127 \text{ V}$
- Dois condutores de cobre carregados, instalados em eletroduto embutido em alvenaria
- Temperatura ambiente: 35°C
- Corrente de curto-circuito presumida no ponto de instalação do disjuntor: $I_k = 1 \text{ kA}$
- Quadro ventilado
- Considere que a corrente de sobrecarga do condutor ao longo de sua vida útil seja controlada e não superará 100 horas durante 12 meses consecutivos ou 500 horas ao longo da vida útil do condutor



Resolução

- Cálculo da proteção (DTM)

- Proteção contra sobrecarga:

$$(a) I_P \leq I_n \leq I_Z \quad (b) I_2 \leq 1,45 \times I_Z$$

$$\text{NBR IEC 60898} \rightarrow I_2 = 1,45 \times I_n \quad (c)$$

- Substituindo (c) em (b) temos:

$$I_2 = 1,45 \times I_n \leq 1,45 \times I_Z \rightarrow I_n \leq I_Z \quad (d)$$

- A inequação (d) já está presente em (a), logo basta utilizar a inequação (a) para dimensionar o DTM:

$$(a) I_P \leq I_n \leq I_Z$$

Resolução

- Cálculo de I_p :

$$I_P = \frac{S}{V} = \frac{5400}{127} = 42,52 \text{ A}$$

- Cálculo de I_z :

$$I_Z = I_C \times FCT \times FCR \times FCA \rightarrow I_Z = 57 \times 1 \times 1 \times 0,94 = 53,58 \text{ A}$$

$\rightarrow = 1$, pois só há um circuito no eletroduto.

$\rightarrow = 1$, pois o eletroduto não está enterrado no solo.

$\rightarrow = 0,94$ (35°C , [Tabela 10.14](#)).

$\rightarrow = 57 \text{ A}$ (B1, 2CC, 30°C , [Tabela 10.10](#)).

- Assim: $42,52 \leq I_n \leq 53,58$

\rightarrow DTM com $I_n = 50\text{A}$ com curva tipo B ([Folha técnica GE](#)).

Resolução

- Proteção contra curto-circuito:

$$I_{cs} \geq I_k \longrightarrow I_{cs} \geq 1 \text{ kA} \quad I_{cs} = 3 \text{ kA} \quad (\text{Folha técnica GE})$$

- Máximo tempo de atuação do DTM:

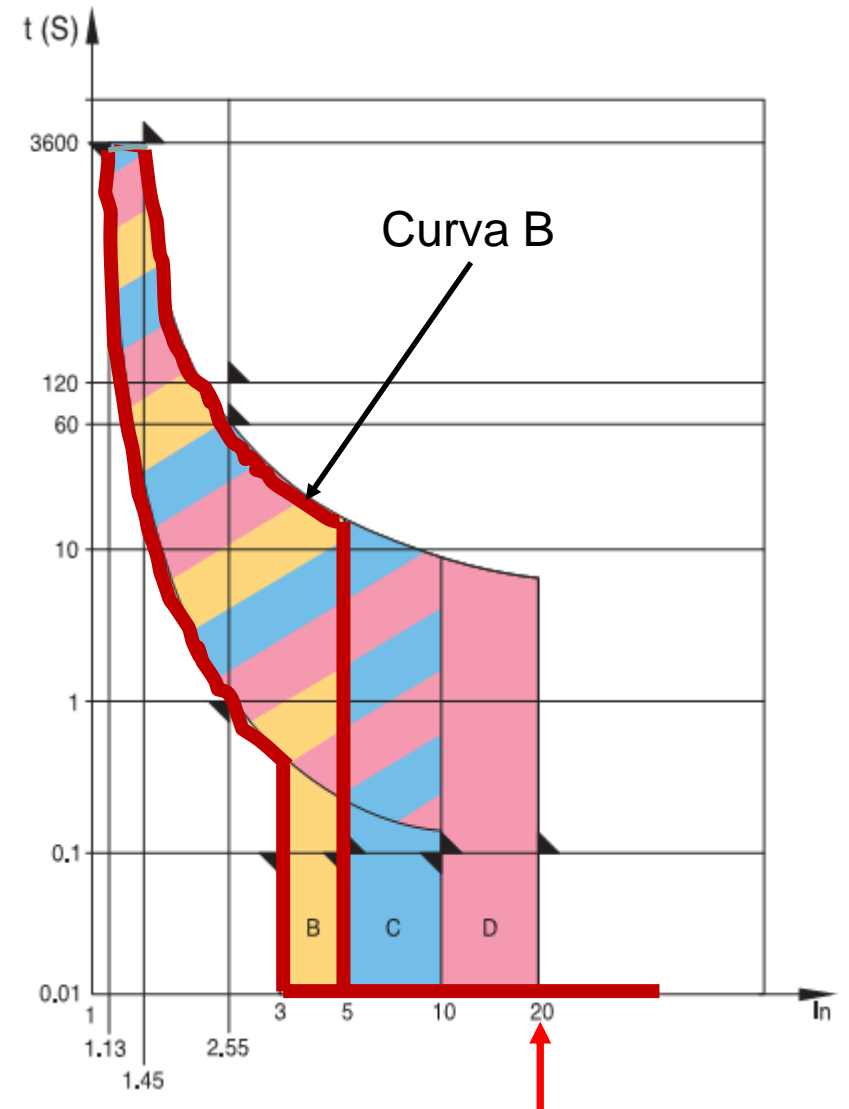
$$t \leq \frac{K^2 S^2}{I^2} \longrightarrow t \leq \frac{115^2 10^2}{1000^2} \longrightarrow t \leq 1,32 \text{ s}$$

└───────────────────> [Tabela 30](#)

- O tempo máximo para que a falta de 1kA seja eliminada é de 1,32s.
- Para uma falta de 1 kA, o tempo de atuação do DTM é:

$$\frac{I_k}{I_n} = \frac{1000}{50} = 20 \quad \longrightarrow \quad T_{dd} = 0,01 \text{ s}$$

Como $T_{dd} \ll t$, o circuito está protegido.



Resolução

- Especificação final do DTM:
 - Minidisjuntor monopolar
 - $I_n=50\text{ A}$
 - 127 V
 - $I_{cs}= 3\text{kA}$
 - 60 Hz
 - Curva B

Tabelas

Tabela 10.10 - Capacidade de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C, e D (Tabela 36 da NBR 5410:2004).

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: PVC

Temperatura no condutor: 70°C

Temperatura de referência do ambiente: 30° C(ar), 20° C(solo)

Seções Nominais mm²	Métodos de Referência Indicados na Tabela 10.8											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
					Número de Condutores Carregados							
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1.5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67

Tabela 10.14 - Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para cabos não-enterrados e de 20°C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas - FCT - (Tabela 40 da NBR 5410:2004).

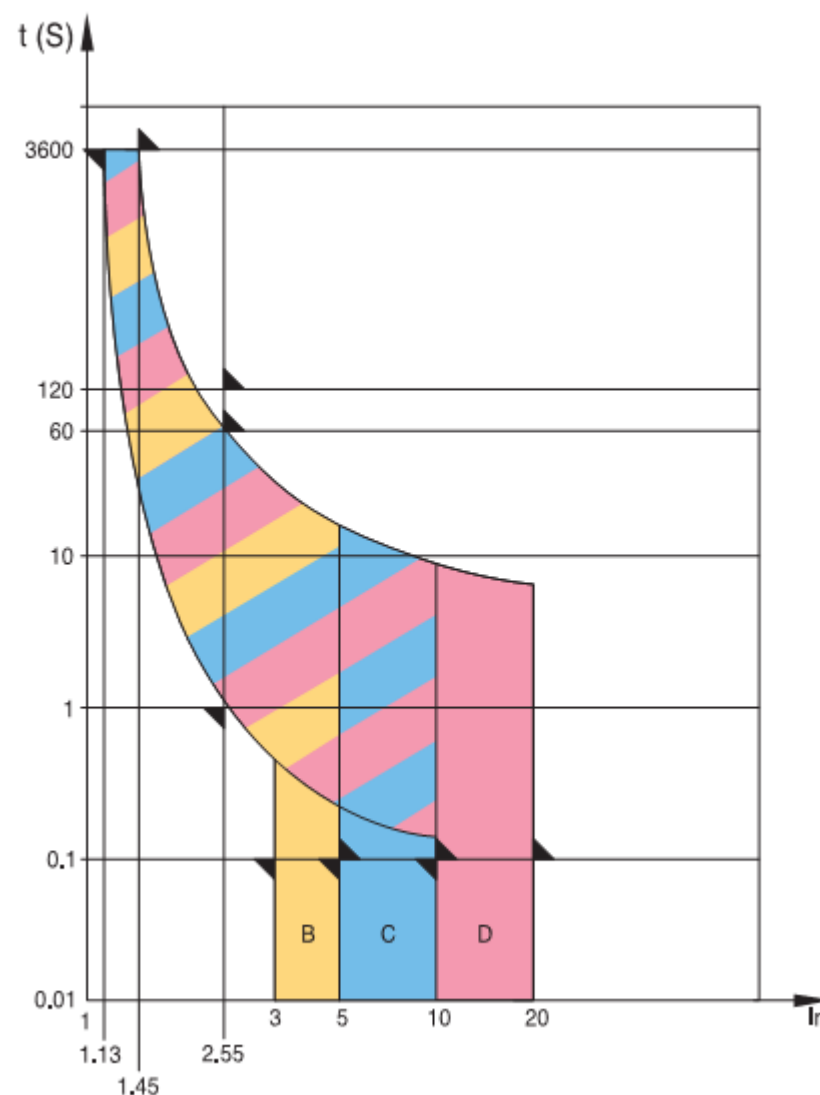
Temperatura °C	Isolação			
	PVC	EPR ou XLPE	PVC	EPR ou XLPE
	Ambiente		do Solo	
10	1,22	1,15	1,10	1,07
15	1,17	1,12	1,05	1,04
20	1,12	1,08	-	-
25	1,06	1,04	0,95	0,96
30	-	-	0,89	0,93
35	0,94	0,96	0,84	0,89
40	0,87	0,91	0,77	0,85

Tabelas

- Fabricante de disjuntores GE

IEC 898		
	Intensidade	Tempo de Atuação
I_{nt} →	$1,13 I_n$	$t \geq 1h (I_n \leq 63A)$ $t \geq 2h (I_n > 63A)$
I_2 →	$1,45 I_n$	$t < 1h (I_n \leq 63A)$ $t < 2h (I_n > 63A)$

Série	Curva B (3 a 5 I_n)	
Curva	Curva B (3 a 5 I_n)	
Corrente Nominal (I_n) A	1P	2P
0,5		
1		
2		
4		
6	GE31B06	GE32B06
10	GE31B10	GE32B10
16	GE31B16	GE32B16
20	GE31B20	GE32B20
25	GE31B25	GE32B25
32	GE31B32	GE32B32
40	GE31B40	GE32B40
50	GE31B50	GE32B50
63	GE31B63	GE32B63
70		
80		
100		
125		
Capacidade de Ruptura (kA)		
IEC 898		
$I_{cn} - 127Vca$	3	-
$I_{cn} - 220Vca$	3	3
$I_{cn} - 230Vca$	-	-
$I_{cn} - 380Vca$	-	3
$I_{cn} - 400Vca$	-	-



Tabelas

Tabela 30 — Valores de k para condutores com isolação de PVC, EPR ou XLPE

Material do condutor	Isolação do condutor					
	PVC				EPR/XLPE	
	$\leq 300 \text{ mm}^2$		$> 300 \text{ mm}^2$			
	Temperatura					
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
	70°C	160°C	70°C	140°C	90°C	250°C
Cobre	115		103		143	
Alumínio	76		68		94	
Emendas soldadas em condutores de cobre	115		—		—	
NOTAS						
1 Outros valores de k, para os casos mencionados abaixo, ainda não estão normalizados: — condutores de pequena seção (principalmente para seções inferiores a 10 mm^2); — curtos-circuitos de duração superior a 5 s; — outros tipos de emendas nos condutores; — condutores nus.						
2 Os valores de k indicados na tabela são baseados na IEC 60724.						