

PROTECAO DISJUNTORES BT
SOBRECARGA E CURTO-
CIRCUITO E QUEDA DE
TENSAO EM CABOS

Proteção contra as Sobrecargas

Conforme a NBR-5410/90, “devem ser previstos dispositivos de proteção para interromper toda corrente de sobrecarga nos condutores dos circuitos antes que esta possa provocar um aquecimento prejudicial à isolação, às ligações, aos terminais ou às vizinhanças das linhas”.

Deve haver uma coordenação entre os condutores e o dispositivo de proteção, de forma a satisfazer as duas condições seguintes:

$$\mathbf{a) \ I_B \leq I_N \leq I_Z}$$

$$\mathbf{b) \ I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z}$$

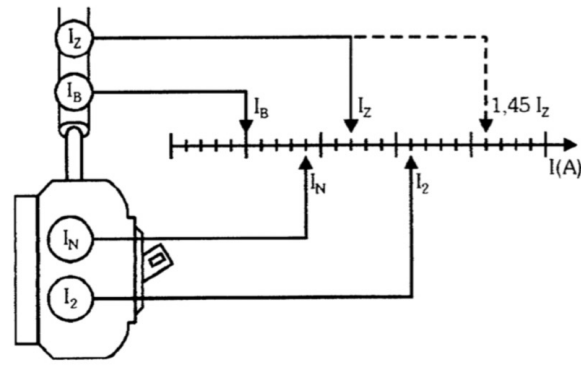
sendo:

I_B = Corrente de projeto do circuito;

I_Z = Capacidade de condução de corrente dos condutores;

I_N = Corrente nominal do dispositivo de proteção;

I_2 = Corrente que assegura efetivamente a atuação do dispositivo de proteção; na prática, a corrente I_2 é considerada igual à corrente convencional de atuação para disjuntores, ou a corrente convencional de fusão, para fusíveis.



Condições de Proteção contra Sobrecargas (NBR-5410/90).

O valor da Corrente Convencional de Atuação I_2 é obtido com base nas tabelas seguintes:

Tempos e Correntes Convencionais de Atuação (I_2)
para Disjuntores Termomagnéticos (NBR 5361).

Corrente Nominal (I_N)	Corrente Conv. de não Atuação	Corrente Conv. de Atuação (I_2)	Tempo Convencional (h)	Temp. Ambiente de Referência
$I_N \leq 50$ A	1,05	1,35	1	25°C
$I_N > 50$ A	1,05	1,35	2	25°C

Tempos e Correntes Convencionais de Fusão (I_f)
para Fusíveis gG (aplicação geral) (NBR 11844).

Corrente Nominal (I_N)	Corrente Conv. de não Fusão (I_{nf})	Corrente Conv. de Fusão (I_f)	Tempo Convencional (h)	Temp. Ambiente de Referência
$I_N \leq 4$	1,5	2,1	1	20°C
$4 < I_N \leq 10$	1,5	1,9	1	20°C
$10 < I_N \leq 63$	1,4	1,75	1	20°C
$25 < I_N \leq 63$	1,25	1,6	1	20°C
$63 < I_N \leq 100$	1,25	1,6	2	20°C

Proteção contra os Curtos-Circuitos

A NBR 5410/90 estabelece que “devem ser previstos dispositivos de proteção para interromper toda corrente de curto-circuito nos condutores dos circuitos, antes que os efeitos térmicos e mecânicos dessa corrente possam tornar-se perigosos aos condutores e suas ligações”.

As correntes presumidas de curto-circuito devem ser determinadas em todos os pontos da instalação julgados necessários, nos quais serão aplicados os dispositivos de proteção.

Recomendações

- a** - O dispositivo de proteção deve ter capacidade de ruptura compatível com a corrente de curto-circuito presumida no ponto de sua instalação.

$$I_R \geq I_{CS}$$

- b** - O dispositivo de proteção deve ser rápido o suficiente para que os condutores do circuito não ultrapassem a temperatura limite.

$$T_{dd} \leq t$$

Para curtos-circuitos simétricos, ou assimétricos com duração inferior a cinco segundos, o tempo limite de atuação do dispositivo de proteção pode ser calculado pela expressão:

$$t = \frac{K^2 \cdot S^2}{I_{CS}^2}$$

sendo:

I_R = corrente de ruptura do dispositivo de proteção;

I_{CS} = corrente de curto-circuito presumida no ponto da instalação do dispositivo;

T_{dd} = tempo de disparo do dispositivo de proteção para o valor de I_{CS} ;

t = tempo limite de atuação do dispositivo de proteção, em segundos;

S = seção do condutor, em mm^2 ;

Dispositivos de Proteção contra Sobrecorrentes

K = constante relacionada ao material do condutor e da isolação do condutor, conforme NBR 5410:

$K=$ 115 para condutores de cobre com isolação de PVC, para seções nominais até 300 mm^2 , ou 103 para seções superiores;

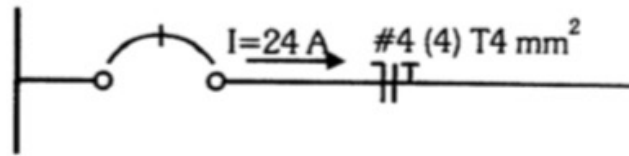
143 para condutores de cobre com isolação de EPR ou XLPE;

76 para condutores de alumínio com isolação de PVC, para seções nominais até 300 mm^2 , ou 68 para seções superiores;

94 para condutores de alumínio com isolação de EPR ou XLPE.




Exemplo de Dimensionamento de Dispositivos de Proteção

Dimensionar o dispositivo de proteção para o circuito da Figura a seguir, sabendo que ele é constituído de condutores unipolares de cobre com isolamento de PVC, está instalado em eletroduto de PVC embutido em alvenaria e a corrente presumida de curto-circuito no ponto de instalação do referido dispositivo de proteção é 2,0 kA.



- Exemplo de Dimensionamento de Dispositivo de Proteção.

Informações Técnicas e Curvas Tempo x Corrente para o Dimensionamento de Disjuntores

As Figuras    apresentam características de disjuntores termomagnéticos.

Tibra
Disjuntor termomagnético para uso geral com caixa em resina fenólica; câmara tralada com verniz 'anti-tracking'.

Supertibra 5
Disjuntor termomagnético de alto desempenho com caixa em resina poliéster e disparador magnético bobinado.

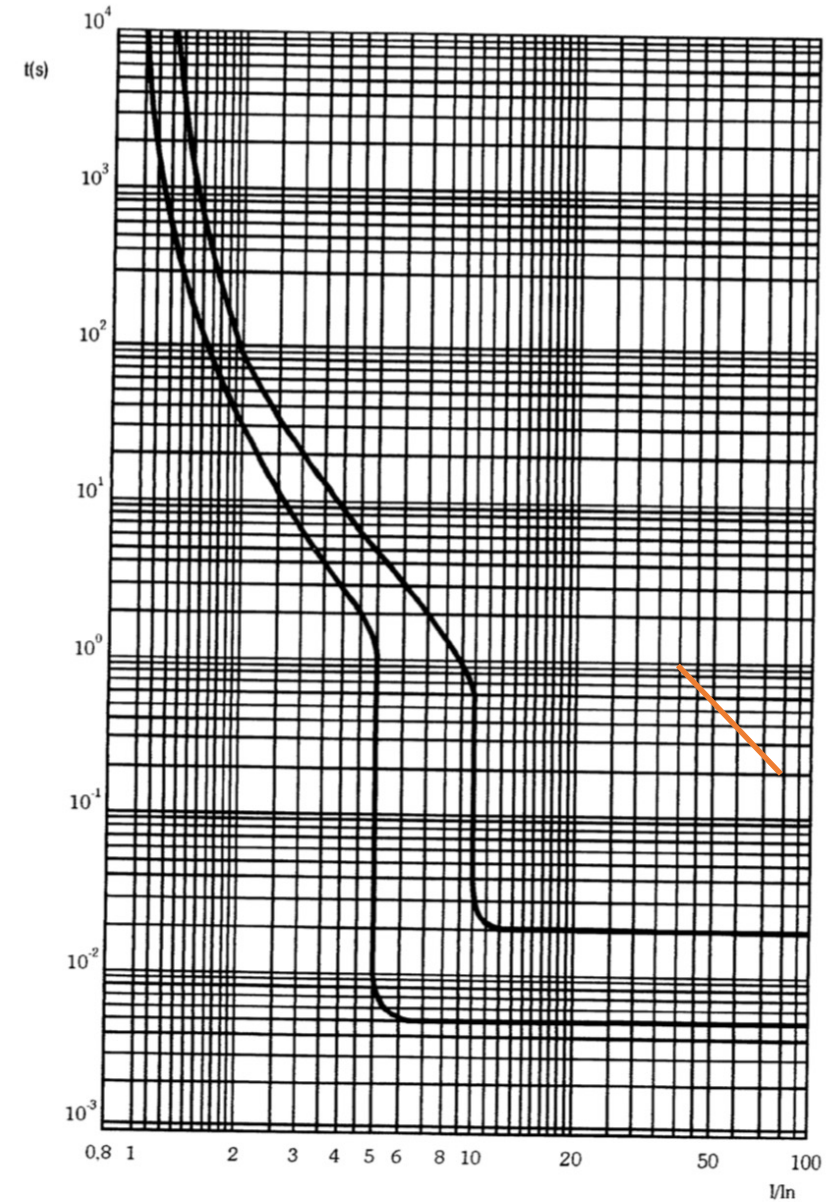
Esta última característica permite manter o limiar de atuação instantâneo em valores não superiores a 10 I_n.

Supertibra 12
Disjuntor termomagnético análogo ao Supertibra 5, porém com elevada capacidade de interrupção.

Tipo	Tibra	Supertibra	Supertibra
Normas de referência	NBR 5361 - NBR 8176 - IEC 157-1		
Tensão de funcionamento (V)	110	110	110
	220	220	220
	380	380	380
		500	500
Frequência (Hz)	50-60		
Correntes nominais (A)	5-10-15-20-25-30-35-40-50-60-70-90-100		
Limiar de situação magnética	350-780A		
	5-10I _n		
Número de polos	5-10I _n		
	1 2 3	1 2 3	1 2 3
Capacidade da interrupção (kA)	110V	5	5
	220V	5 5 5	5 5 5
	380V	5	5
	500V	3	3

- Características dos Disjuntores Termomagnéticos, Linha Supertibra. (Cortesia Bticino).

Supertibra



Curva Característica Tempo x Corrente dos Disjuntores Termomagnéticos, Linha Supertibra (Cortesia Bticino).

Solução

1 - Sobrecarga

$$\mathbf{a - } I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_B = 24 \text{ A}; I_Z = 32 \text{ A, Tabela 7.2} \Rightarrow 24 \leq I_N \leq 32 \Rightarrow \mathbf{I_N = 25 \text{ A}}$$
 (condição atendida)

$$\mathbf{b - } I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

$$I_2 = 1,35 \cdot I_N \Rightarrow I_2 = 1,35 \cdot 25, \text{ Tabela 9.1} \Rightarrow I_2 = 33,75 \text{ A}$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \Rightarrow 33,75 \leq 1,45 \cdot 32 \Rightarrow 33,45 \leq 46,4 \text{ (condição atendida)}$$

2 - Curto-Circuito

$$\mathbf{a - } I_R \geq I_{cs}$$

Para resolver este problema, necessitamos recorrer às tabelas de fabricantes, as quais apresentam as características nominais e curvas de atuação dos dispositivos de proteção. Utilizando como exemplo disjuntores termomagnéticos do fabricante Bticino, linha Supertibra 5, vemos que o disjuntor monopolar de corrente nominal 25 A, 110 ou 220 V apresenta uma capacidade de interrupção de 5 kA, $I_R = 5 \text{ kA}$. Portanto,

$$I_R = 5 \text{ kA e } I_{cs} = 2 \text{ kA} \Rightarrow 5 \text{ kA} \geq 2 \text{ kA} \text{ (condição atendida).}$$

$$\mathbf{b - } T_{dd} \leq t, \text{ e } t = \frac{K^2 \cdot S^2}{I^2} :$$

Consultando a curva característica do disjuntor Supertibra, $I_{cs} = 1000 \text{ A}$, observamos que para uma corrente de curto-circuito presumida de valor igual a 2 kA, teremos:

$$I_{cs} / I_n = 2000 / 25 = 80 \Rightarrow \mathbf{T_{dd} = 0,02 \text{ segundo.}}$$
 2º ponto da curva do cabo

$$t = (115)^2 \cdot (4)^2 / (2000)^2 \Rightarrow \mathbf{t = 0,23 \text{ segundo.}}$$
 $I_{cs} = 1000 \text{ A}$ logo $I_{cs} / I_n = 1000 / 25 = 40$

$$\text{logo, } 0,02 \text{ s} \leq 0,23 \text{ s (condição atendida).}$$

$$t_{\text{cabo}} (I_{cs} = 1000 \text{ A}) = 0,23 \cdot 4 = 0,92 \text{ s}$$

Conclusão

O Disjuntor Termomagnético Monopolar de Corrente Nominal 25 A, Tensão Nominal 220 V, Frequência 60 Hz e Capacidade de Ruptura 5 kA, referência Supertibra 5 da BTCINO atende satisfatoriamente à proteção do circuito

QUEDA DE TENSÃO EM CABOS

CRITÉRIO DE CAPACIDADE DE CORRENTE PARA ESCOLHA DE CONDUTORES

- - Deve-se determinar a demanda das cargas(curvas) – demanda máxima
- - Há situações em que se deve determinar a corrente eficaz média de uma carga sujeita a uma determinado ciclo de trabalho(motor que parte em um determinado ciclo com uma corrente alta no início e no resto do ciclo a corrente muda de valor).
- - Deve-se determinar a corrente da carga ou conjunto de cargas que será alimentada pelo condutor
 - circuito monofásico :
 - $I = S \text{ monofásico} / V \text{ nominal}$
 - carga trifásica:
 - $I = S \text{ trifásico} / (1,73 \times V \text{ nominal-linha})$
 - ou
 - $I = P \text{ trifásico} / [\cos(\phi) \times 1,73 \times V \text{ nominal-linha}]$
 - $I = S \text{ trifásico} / (3 \times V \text{ nominal-fase})$
 - ou
 - $I = P \text{ trifásico} / [\cos(\phi) \times 3 \times V \text{ nominal-fase}]$

CRITÉRIO DE CAPACIDADE DE CORRENTE PARA ESCOLHA DE CONDUTORES

- com a corrente determinada deve-se verificar a correção de temperatura - FCT(depende do material e da temperatura ambiente) e a de agrupamento de circuitos - FCA(depende do modo de instalação) – consultar tabelas da norma NBR-5410(NB3) ou catálogos de fabricantes de cabos
 - $I \text{ corrigida} = I / (FCT \times FCA)$
- com a corrente corrigida deve-se consultar a tabela do modo de instalação e do tipo de cabo(isolação) para determinar a bitola que atende a esta corrente em função do número de condutores do circuito(2 condutores– monofásico/bifásico e 3 ou 4 condutores– trifásico a 3 ou 4 fios)

CRITÉRIO DE QUEDA DE TENSÃO PARA ESCOLHA DE CONDUTORES

- com o cabo determinado pelo critério de corrente admissível, deve-se determinar a resistência em CA e a reatância (depende do cabo e do modo de instalação - ver catálogo do fabricante
- com os parâmetros do cabo e o comprimento do mesmo pode-se determinar a queda de tensão
 - monofásico
 - $DV = 2 \times (R + j X) \times L \times I$ monofásico
 - aproximado : $DV = 2 \times (R \times \cos(\phi) + X \times \sin(\phi)) \times L \times I$

CRITÉRIO DE QUEDA DE TENSÃO PARA ESCOLHA DE CONDUTORES

- - trifásico
- $DV = (R + j X) \times L \times I$ trifásico
- aproximado : $DV = (R \times \cos(\phi) + X \times \sin(\phi)) \times L \times I$
- $DV = K \times L \times I$ ($[K] = V / (A \times Km)$) – tabelas
- Graficamente
- $DV = (R + j X) \times L \times (I \times \cos(-\phi) + j I \times \sin(-\phi))$
- $DV = (R \times \cos(\phi) + X \times \sin(\phi)) \times L \times I + j (- R \times \sin(\phi) + X \times \cos(\phi)) \times L \times I$

CRITÉRIO DE QUEDA DE TENSÃO PARA ESCOLHA DE CONDUTORES

- limites de queda de tensão(norma NBR-5410) :
- - ramal : 4%
- - trafo e fonte própria : 7%

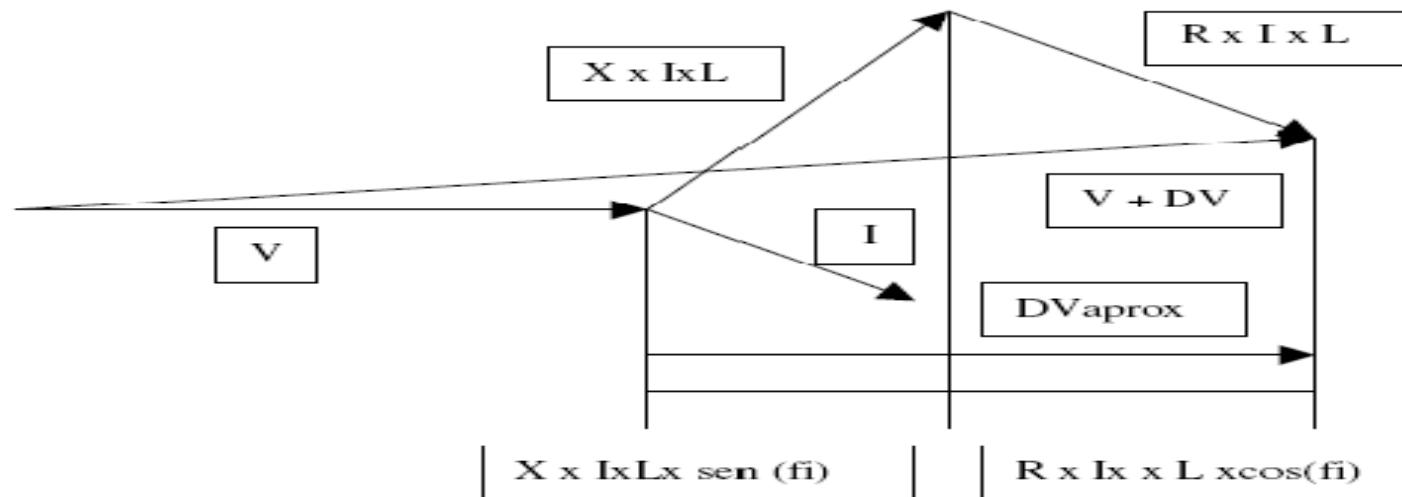


Tabela 7.14 - Limites de Queda de Tensão

	Iluminação	Outros Usos
A - Instalações alimentadas diretamente por um ramal de baixa tensão, a partir de uma rede de distribuição pública de baixa tensão.	4%	4%
B - Instalações alimentadas por subestação de transformação ou transformador, a partir de uma instalação de alta tensão.	7%	7%
C - Instalações que possuam fonte própria.	7%	7%

Fonte: Tabela 42 da NBR-5410/90

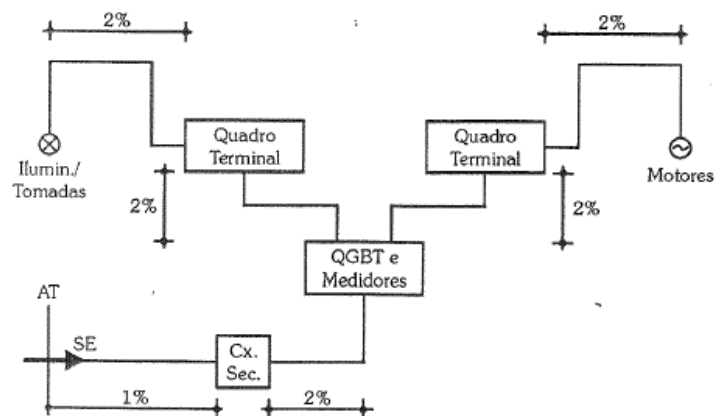


Figura 7.6 - Sugestão de Aplicação de Percentuais de Queda de Tensão nos Diversos Trechos de uma Instalação Alimentada Diretamente por Subestação de Transformação, de forma a obter-se o Limite Máximo Admissível de 7% de Queda de Tensão (Conforme NBR-5410/90)

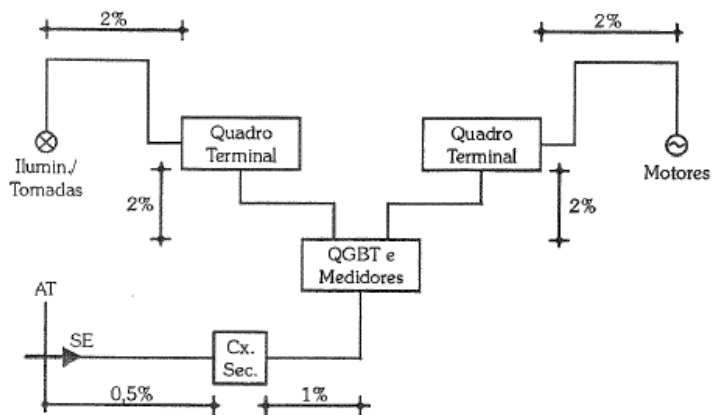


Figura 7.7 - Sugestão de Aplicação de Percentuais de Queda de Tensão nos Diversos Trechos de uma Instalação Alimentada Diretamente por Subestação de Transformação, de forma a obter-se o Limite Máximo Admissível de 5,5% de Queda de Tensão (Conforme a NTC 9-01110 - COPEL)





Tabela 7.15 - Queda de Tensão Unitária, em Volt/Ampère.km, Condutores com Isolação em PVC (Cortesia: Siemens S/A)

Seção Nominal (mm ²)	Eletroduto e calha fechada (material magnético) a)		Eletroduto, calha fechada, bloco alveolado (material não magnético)		Instalação ao ar livre d)																													
					Cabo Vitril										Cabo unipolar				Cabo tri/tetrapolar		Cabo Chumbo BWF 2 condutores		Cabo Chumbo BWF											
					Cabos unipolares d)					Sistema monofásico					Sistema trifásico					Sistema monofásico		Sistema trifásico		Sistema monofásico		Sistema trifásico								
	Fio e Cabo Noflam BWF Noflam Flex Cabo Vitril		Fio e Cabo Noflam BWF Cabo Noflam Flex Cabo Vitril b)		Sistema monofásico					Sistema trifásico					Sistema trifásico					Sistema monofásico		Sistema trifásico		Sistema monofásico		Sistema trifásico								
					Sistema monofásico e trifásico			Sistema monofásico		Sistema trifásico		S = 10cm		S = 20cm		S = 2D		S = 10cm		S = 20cm		S = 2D		F.P. 0,8		F.P. 0,95		F.P. 0,8		F.P. 0,95		F.P. 0,8		F.P. 0,95
				F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95	F.P. 0,8	F.P. 0,95			
1,5	23	27,4	23,3	27,6	20,2	23,9	23,6	27,8	23,7	27,8	23,4	27,6	20,5	24	20,5	24,1	20,3	23,9	20,2	23,9	23,3	27,6	20,2	23,9	23,3	27,6	20,8	24,2	20,8	24,2				
2,5	14	16,8	14,3	16,9	12,4	14,7	14,6	17,1	14,7	17,1	14,4	17	12,7	14,8	12,7	14,8	12,5	14,7	12,4	14,7	14,3	16,9	12,4	14,7	14,3	16,9	12,9	14,9	12,9	14,9				
4	9	10,5	8,96	10,6	7,79	9,15	9,25	10,7	9,35	10,7	9,06	10,6	8,02	9,27	8,08	9,3	7,86	9,19	7,79	9,15	8,96	10,6	7,76	9,14	8,96	10,5	8,37	9,45	8,37	9,45				
6	5,87	7	6,03	7,07	5,25	6,14	6,3	7,18	6,41	7,18	6,11	7,09	5,47	6,25	5,52	6,28	5,32	6,17	5,25	6,14	6,03	7,07	5,22	6,12	6,02	7,07	5,64	6,34	5,64	6,34				
10	3,54	4,2	3,63	4,23	3,17	3,67	3,88	4,35	3,95	4,36	3,71	4,26	3,38	3,79	3,44	3,81	3,24	3,71	3,17	3,67	3,63	4,23	3,14	3,66	-	-	-	-	-	-				
16	2,27	2,7	2,32	2,68	2,03	2,33	2,56	2,79	2,64	2,82	2,4	2,72	2,42	2,44	2,29	2,47	2,1	2,37	2,03	2,33	2,32	2,68	2,01	2,32	-	-	-	-	-	-				
25	1,5	1,72	1,51	1,71	1,33	1,49	1,73	1,83	1,8	1,86	1,59	1,76	1,52	1,6	1,57	1,62	1,4	1,53	1,33	1,49	1,51	1,71	1,31	1,48	-	-	-	-	-	-				
35	1,12	1,25	1,12	1,25	0,98	1,09	1,33	1,36	1,39	1,39	1,2	1,29	1,17	1,19	1,22	1,22	1,06	1,13	0,98	1,09	1,12	1,25	0,97	1,08	-	-	-	-	-	-				
50	0,86	0,95	0,85	0,94	0,76	0,82	1,05	1,04	1,12	1,08	0,93	0,98	0,93	0,91	0,99	0,94	0,83	0,86	0,76	0,82	0,85	0,94	0,74	0,81	-	-	-	-	-	-				
70	0,64	0,67	0,62	0,67	0,55	0,59	0,81	0,76	0,87	0,8	0,7	0,71	0,72	0,67	0,77	0,7	0,63	0,62	0,55	0,59	0,62	0,67	0,54	0,58	-	-	-	-	-	-				
95	0,5	0,51	0,48	0,5	0,43	0,44	0,65	0,59	0,71	0,62	0,56	0,54	0,58	0,52	0,64	0,55	0,5	0,47	0,43	0,44	0,48	0,5	0,42	0,43	-	-	-	-	-	-				
120	0,42	0,42	0,4	0,41	0,36	0,36	0,57	0,49	0,63	0,52	0,48	0,44	0,51	0,43	0,56	0,46	0,43	0,39	0,36	0,36	0,4	0,41	0,35	0,35	-	-	-	-	-	-				
150	0,37	0,35	0,35	0,34	0,31	0,3	0,5	0,42	0,56	0,45	0,42	0,38	0,45	0,37	0,51	0,4	0,38	0,34	0,31	0,3	0,35	0,34	0,3	0,3	-	-	-	-	-	-				
185	0,32	0,3	0,3	0,29	0,27	0,25	0,44	0,36	0,51	0,39	0,37	0,32	0,4	0,32	0,46	0,35	0,34	0,29	0,27	0,25	0,3	0,29	0,26	0,25	-	-	-	-	-	-				
240	0,27	0,25	0,26	0,24	0,23	0,21	0,39	0,3	0,45	0,33	0,33	0,27	0,35	0,27	0,41	0,3	0,3	0,24	0,23	0,21	0,26	0,24	0,22	0,2	-	-	-	-	-	-				
	0,27	0,22	0,23	0,2	0,21	0,18	0,35	0,26	0,41	0,29	0,3	0,23	0,32	0,23	0,37	0,26	0,28	0,21	0,21	0,18	0,23	0,2	0,17	-	-	-	-	-	-	-				

Notas:

- a) As dimensões do eletroduto e da calha fechada adotadas, são tais que a área dos fios ou cabos não ultrapasse 40% da área interna dos mesmos (taxa de ocupação 40%).
- b) Nos blocos alveolados, só devem ser usados cabos vitril 0,6/1kV.
- c) Aplicável à fixação direta à parede ou teto, calha aberta, ventilada ou fechada, poço, espaço de construção, bandeja, prateleira, suportes sobre isoladores e linha aérea.
- d) Aplicável também aos condutores isolados, por exemplo, fios e cabos noflam BWF sobre isoladores e em linha aérea.
- e) Os valores tabelados são para fios e cabos com condutores de cobre.

Tabela 7.16 - Queda de Tensão Unitária, em Volt/Ampère.km, condutores com isolamento em EPR (Cortesia: Siemens S/A)

Seção Nominal (mm ²)	Cabos unipolares				Cabos Tripolares Cabos Quadripolares	
						
	FP = 0,80	FP = 0,90	FP = 0,80	FP=0,90	FP = 0,80	FP = 0,90
1,5	21,54	24,16	21,52	24,15	21,49	24,12
2,5	13,25	14,84	13,23	14,82	13,20	14,80
4	8,30	9,27	8,28	9,26	8,26	9,23
6	5,59	6,22	5,57	6,21	5,55	6,20
10	3,38	3,74	3,36	3,72	3,33	3,71
16	2,17	2,38	2,15	2,37	2,13	2,35
25	1,42	1,54	1,40	1,53	1,38	1,51
35	1,06	1,14	1,04	1,12	1,02	1,11
50	0,81	0,86	0,80	0,85	0,78	0,84
70	0,60	0,62	0,58	0,61	0,57	0,60
95	0,46	0,47	0,45	0,46	0,43	0,45
120	0,39	0,39	0,38	0,38	0,36	0,37
150	0,34	0,33	0,32	0,32	0,31	0,32
185	0,30	0,29	0,28	0,27	0,27	0,27
240	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22
300	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20	0,19
400	0,20	0,18	0,19	0,17	-	-
500	0,18	0,16	0,17	0,16	-	-

Exemplo

EXEMPLOS:

- 1- Consideremos que o circuito terminal do Chuveiro Elétrico do exemplo 1 anterior tenha um comprimento de 15 metros (distância do Quadro de Distribuição do Apartamento à tomada de ligação do chuveiro). Dimensione o circuito.

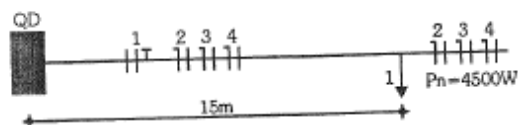


Figura 7.8 - Circuitos Terminais de Iluminação e Tomadas

Solução:

Dados:

Maneira de Instalar: Eletroduto Embutido em alvenaria;

Eletroduto: PVC (Não Magnético);

Circuito: Bifásico (considera-se a coluna monofásico da tabela 7.15)

Corrente de Projeto: $I_p = 20,45 \text{ A}$;

Fator de Potência: $\cos\phi = 1,00$ (considera-se a coluna 0,95, tabela 7.15, isolamento PVC);

Comprimento do Circuito: $l = 15\text{m} = 0,015 \text{ km}$;

Isolação do condutor: PVC;

Tensão do circuito: 220 V;

Queda de Tensão Admissível: 2 % (ver tabela 7.14 e figura 7.7);

Queda de Tensão Unitária:

$$\Delta V_{\text{unit}} = 0,02 \cdot 220 / 20,45 \cdot 0,015 \Rightarrow \Delta V_{\text{unit}} = 14,34 \text{ V/A.km}$$

Com este valor, entramos na tabela 7.15, eletroduto PVC, circ. monofásico, fator de potência = 0,95, e encontraremos o valor 10,6 V/A.km, imediatamente inferior ao calculado, que determina a bitola do condutor de cobre de 4 mm².

CRITÉRIO DE CURTO-CIRCUITO PARA ESCOLHA DE CONDUTORES

- com a bitola maior entre o critério de queda de tensão e o de corrente admissível podemos verificar se o cabo suporta a corrente de curto-circuito máxima no ponto onde o cabo será conectado até a atuação do elemento de proteção(fusível ou disjuntor)
- a equação de curto- circuito do cabo tem a seguinte forma:
- $T \times (I / \text{Seção})^2 = K \times \log[(T2 + 234)/(T1 + 234)]$
 - Onde :
 - T - tempo s
 - I - corrente em A
 - Seção - mm²
 - K - constante que depende do condutor(isolação, etc)
 - T1 - máxima temperatura admissível em condições normais (oC)
 - T2 - máxima temperatura admissível em curto-circuito (oC)

Cabos Eletricos

Condutor

- A. Materiais Condutores
- B. Materiais Isolantes
- C. Proteção Mecânica

Condutores

- **1. Cobre eletrolítico** , pureza mínima 99,9%, recozido(têmpera mole).Condutibilidade 100% IACS.Ponto de fusão1083 °C
- **2. Alumínio de alta pureza** , têmpera meio dura, condutibilidade 61% IACS.Ponto de fusão 658 °C. Sofre corrosão quando em contato com cobre e outros metais.
- 3. Outros metais :
 - **Prata** : alta condutibilidade , óxido condutor.
 - **Platina** : contatos , alta temperatura de fusão.
 - **Ouro** : não oxida , protege outros materiais.
 - **Mercúrio** : usado em contatos.
- **4. Ligas Metálicas** : bronze , latão.

Materiais Isolantes

- **1. Termo-plásticos** - materiais que amolecem com o aumento da temperatura.
 - - PVC (cloreto de polivinila) 70 °C
 - - PE (polietileno termoplástico) 75 °C
- **2. Termo-fixos** - são vulcanizados e não amolecem com o aumento de temperatura. Carbonizam quando demasiadamente aquecidos.
 - - XLPE (polimetano reticulado) 90 °C
 - - EPR (borracha etileno propileno) 90 °C
 - - neoprene (borracha sintética)

C. Proteção Mecânica

- **1. Capas não metálicas :**

- -geralmente externas ;
- -PVC, neoprene, polietileno : escolhidos em função da resistência mecânica ou química.

- **2. Proteção metálica :**

- -empregada quando os cabos são solicitados mecanicamente (sob forma de armação);
- -radial (fitas de aço ou de alumínio)
- -tangencial (fios de aço)

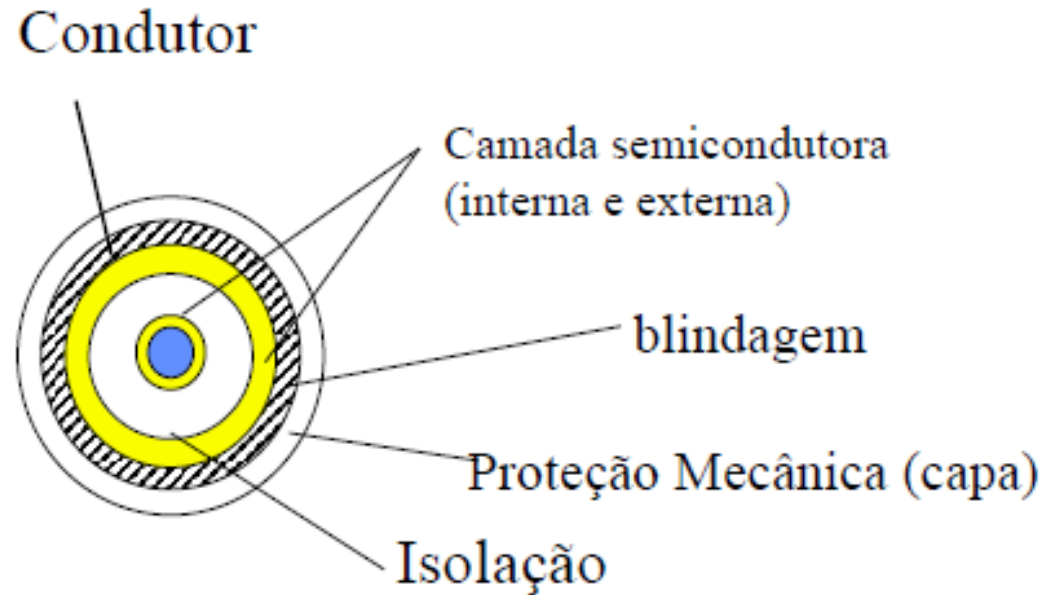
Classificação de fios e cabos

- **A. Tensão** - baixa tensão (menor 1000V)
- - média tensão
- (entre 1000 e 3500 V)
- - alta tensão (maior 3500V)
- **B. Isolação** -nus (aéreos-alumínio)
- -isolados (cobre , alumínio)
- **C. Material** -cobre
- -alumínio

ASPECTOS CONSTRUTIVOS

Cabos Isolados :

- menor 1000V
 - condutor
 - isolação
 - capa(às vezes)
- maior 1000V
 - Condutor
 - semi-condutor
 - Isolação
 - semi-condutor
 - Blindagem
 - capa externa



Isolação

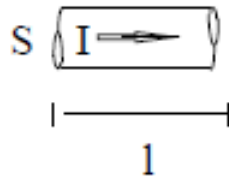
1. **estrudada** : termoplásticos termofixo
2. **estratificada** : papel com massa papel com óleo

C. Temperaturas (°C)

	CONTÍNUA	SOBRE CARGA	C.C.
PVC	70	100	160
EPR	90	130	250
PAPEL	85 85	110 105	200 250

Comparação cobre X alumínio

A. Ponto de vista elétrico



$$\rho_{Cu} = 0.017 \Omega \frac{mm^2}{m}$$

$$\rho_{Al} = 0.2828 \Omega \frac{mm^2}{m}$$

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$\rho_{Cu} \frac{l}{S_{Cu}} = \rho_{Al} \frac{l}{S_{Al}}$$

$$\frac{S_{Cu}}{S_{Al}} = \frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}} = \frac{0.017}{0.028} = 0.607$$

$$S_{Cu} = 0.607 S_{Al}$$

$$d_{Cu} = 0.78 d_{Al}$$

B. Ponto de vista mecânico

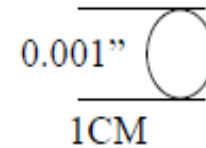
$$\frac{P_{Cu}}{P_{Al}} = \frac{\gamma_{Cu} S_{Cu} l_{Cu}}{\gamma_{Al} S_{Al} l_{Al}} = \frac{8.89 \times 0.607}{2.70 \times 1} \cong 2.0$$

Apesar de ter 60.7% da seção do cabo de Al,
o cabo de Cu **pesa o dobro!!!**

Secção Transversal

A. AWG (em desuso)

B. Circular mil.



$$1CM \Leftrightarrow \frac{\pi}{4} (0.0254)^2 mm^2$$

$$1CM \Leftrightarrow 506.7 \times 10^{-6} mm^2$$

C. Escala milimétrica

D. Tipos de condutores

-redondo sólido

normal

composto

-setorial

-flexível e extra flexível

CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE



$$\boxed{\text{CALOR PRODUZIDO}} = \boxed{\text{CALOR ARMAZENADO}} + \boxed{\text{CALOR TRANSFERIDO}}$$

$$W \cdot dt = Q \cdot d\theta + A \cdot k \cdot \theta \cdot dt$$

- W = calor produzido por efeito Joule
- $Q = Q_{cond} + Q_{iso}$ = capacidade térmica do condutor e isolante
- c_{cond} = calor específico do condutor
- c_{iso} = calor específico do isolante
- $d\theta$ = variação de temperatura do condutor no intervalo dt
- A = área da superfície emissora de calor
- k = coeficiente de transferência de calor
- θ = elevação de temperatura do condutor sobre o ambiente

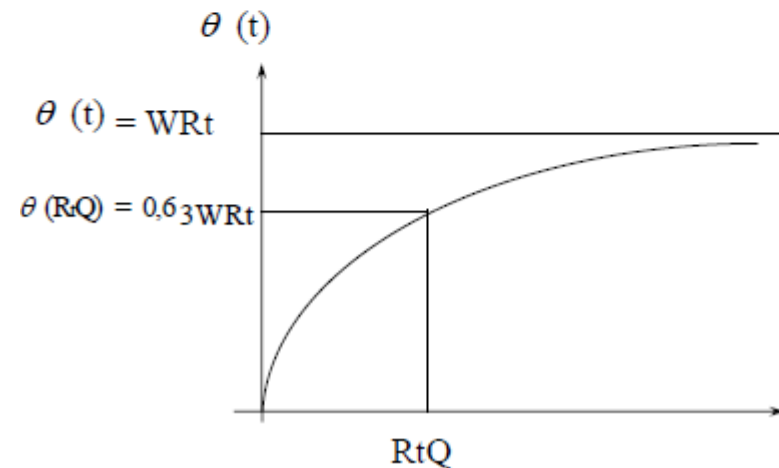
Solução :

$$\theta = T_{Cond} - T_{amb} = W \cdot Rt \cdot (1 - e^{-\frac{t}{Rt \cdot Q}})$$

$W = RI^2$ = calor produzido

$Rt = 1/(A \cdot k)$ = resistência térmica

$Rt \cdot Q$ = constante de tempo térmica

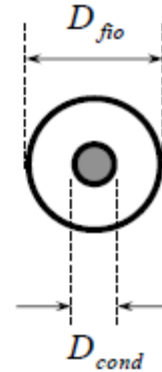


Resistência Térmica

$$R = R_{t_{iso}} + R_{t_{ar}}$$

Resistência Térmica do Isolante

$$R_{t_{iso}} = \frac{\rho_{iso}}{2\pi} \cdot \ln \frac{D_{fio}}{D_{cond}}$$



Resistência Térmica do Meio (ar)

$$R_{t_{ar}} = \frac{10^3}{\pi \cdot D_{fio} \cdot h \cdot \theta_s^{0,25}}$$

h = coeficiente de dissipação de calor

θ_s = diferença de temperatura entre a superfície do fio e o meio ambiente

Capacidade Térmica

$$Q = Q_{cond} + Q_{iso}$$

Capacidade Térmica do Condutor

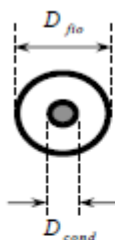
$$Q_{cond} = c_{cond} \cdot S_{cond}$$

Capacidade Térmica do Isolante

$$Q_{iso} = c_{iso} \cdot S_{iso} = c_{iso} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{fio}^2 - D_{cond}^2)$$

EXEMPLO

Dados: fio=2,5mm² , Cu/PVC
 t_{amb}=20 °C , isol. 1mm



a) PVC ⇒ t_{max}=70°C

b) diâmetro

$$D_{fio}^2 = \frac{4S}{\pi} = \frac{4 \times 2,5}{\pi} = 1,78mm$$

c) resistência térmica da isolação

$$Rt_{iso} = \frac{\rho_{iso}}{2\pi} \ln \frac{D_{fio}}{D_{cond}} = \frac{6}{2\pi} \ln \frac{3,78}{1,78} = 0,72^\circ Cm/W$$

d) resistência térmica do ar

$$R_{tar} = \frac{10^3}{\pi \cdot D_{fio} \cdot h} \theta_s^{-0,25} = \frac{10^3}{\pi \cdot 3,78 \cdot 6,8} 50^{-0,25} = 4,65^\circ Cm/W$$

$$h \cong 6,8W/m^2$$

e) resistência elétrica

$$R_{cond} = \frac{0,017241}{S_{cond}} [1 + 0,00393 \times (T_{cond} - 20)] =$$

$$= 6,89 \times 10^{-3} [1 + 0,00393 \times 50] = 8,24\Omega$$

$$\theta = WR_t [1 - e^{-\frac{t}{\tau}}]$$

-em regime permanente

$$\theta = WR_t$$

$$I = \sqrt{\frac{\theta}{rR_t}} = \sqrt{\frac{50 \times 1000}{8,24 \times (0,72 + 4,65)}} = 33,6A$$

-em regime transitório

$$Q = Q_c + Q_d = 23,47J/^\circ Cm$$

$$Q_c = c_c A_c = 8,625J/^\circ Cm$$

$$Q_d = c_d A_d = 14,84J/^\circ Cm$$

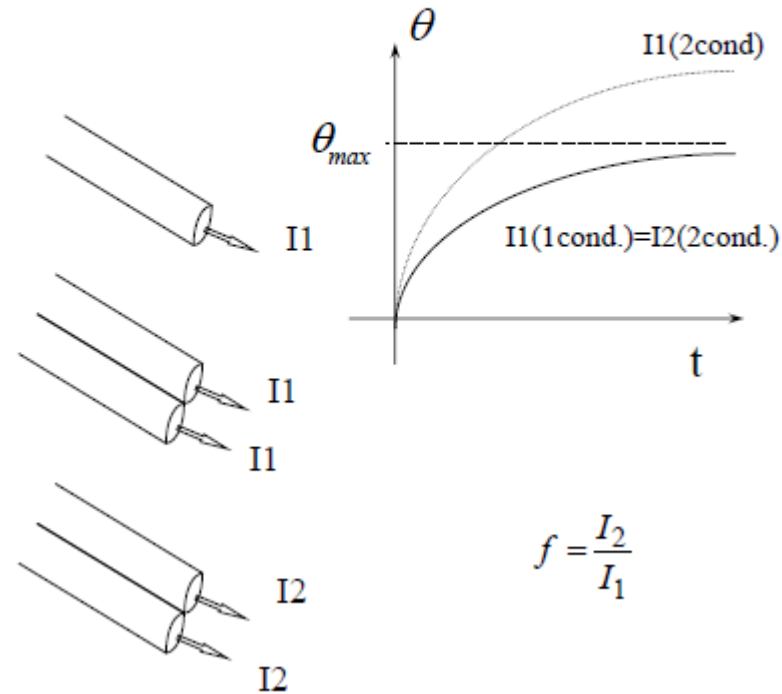
$$\theta = 8,24 \times 10^{-3} \times 33,6^2 \times 5,37 [1 - e^{-\frac{t}{\tau}}]$$

$$T = Rt \times Q = 23,47 \times 5,37 = 126A$$

$$\theta = 50(1 - e^{-\frac{t}{126}})$$

Fator de Agrupamento

Multiplicador que se aplica na corrente admissível de uma condição de referência para se obter a corrente admissível em outra condição.



Corrente Curto- Circuito em Cabos

Parâmetros Elétricos de Cabos – R e X

Aquiles

CONDUTOR	FÓRMULA
Cobre	$\left[\frac{I}{S} \right]^2 t = 115679 \log \left[\frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right]$
Alumínio	$\left[\frac{I}{S} \right]^2 t = 48686 \log \left[\frac{T_2 + 228}{T_1 + 228} \right]$
SIMBOLOGIA	
<p>I = Corrente de curto-circuito (A)</p> <p>S = Seção transversal (mm²)</p> <p>t = Tempo de duração do curto-circuito (s)</p> <p>T₁ = Máxima temperatura admissível no condutor em operação normal (°C)</p> <p>T₂ = Máxima temperatura admitida para o condutor no curto-circuito (°C)</p>	

6.3 Máximas temperaturas admissíveis (°C)

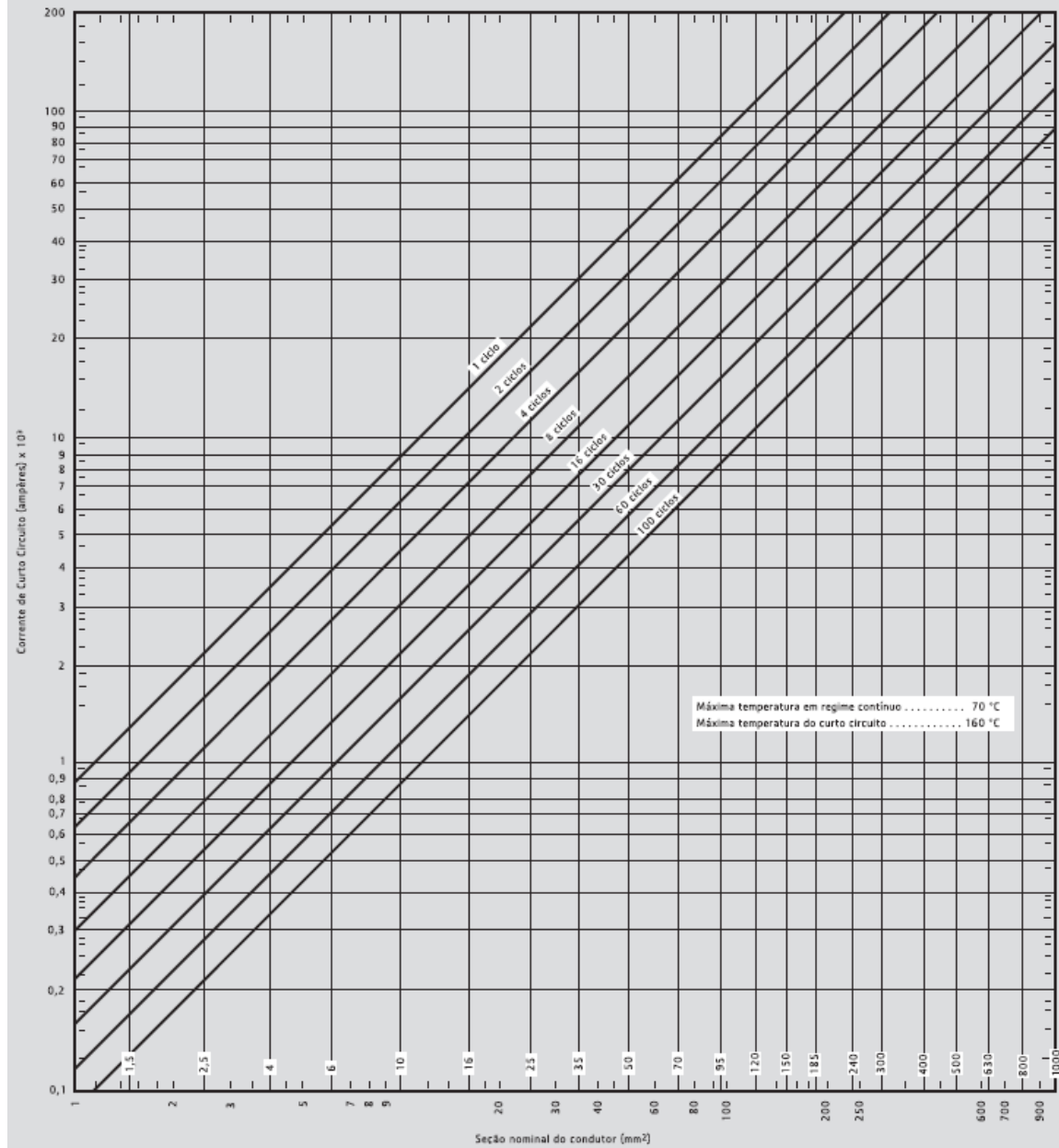
Isolação	Regime θ_z	Sobrecarga θ_s	Curto-circuito θ_k
PVC	70	100	160
EPR	90	130	250
XLPE	90	130	250

➤ CABO SUPERASTIC, CABO SUPERASTIC FLEX E FIO SUPERASTIC

CABO SINTENAX, CABO SINTENAX FLEX E AFUMEX 750V

CONDUTOR - COBRE

CONEXÕES Prensadas e Soldadas



[Resistência do Condutor em Corrente Contínua]

A resistência em corrente contínua a 20°C do condutor (R_{cc20}) é calculada segundo a fórmula:

$$R_{cc20} = \frac{p_{20}}{A} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

Sendo:

- Para condutores redondos normais:

$$A = \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4}, \text{ em mm}^2.$$

- Para condutores redondos compactados:

$$A = \text{secção nominal, em mm}^2.$$

Onde:

- p_{20} = resistividade padrão em $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$ a 20°C.
Para o cobre $p_{20} = 17,241$ em $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$
Para o alumínio $p_{20} = 28,264$ em $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$
- n = número de fios elementares que formam o condutor.
- d = diâmetro dos fios elementares que formam o condutor, em mm.
- K_1 = fator que depende do diâmetro dos fios elementares, do tipo de metal e se o cobre é nu ou revestido. (vide tabela abaixo)

Diâmetro Fios Elementares mm		K_1			
		Condutor sólido ou compactado		Condutor encordoado não compactado	
>	≤	Cobre nu	Cobre revestido ou Alumínio nu	Cobre nu	Cobre revestido ou Alumínio nu
—	0,10	—	—	1,07	1,12
0,10	0,31	—	—	1,04	1,07
0,31	0,91	1,03	1,05	1,02	1,04
0,91	3,60	1,03	1,04	1,02	1,03
3,60	—	1,03	1,04	—	—

- K_2 = fator que depende do tipo de encordoamento. (vide tabela abaixo)

Tipo de encordoamento	Diâmetro do fio elementar (mm)	K_2
Condutor sólido ou compactado	—	1,00
Redondo normal	< 60	1,02
	≤ 60	1,04
Flexíveis	< 60	1,03
	≤ 60	1,04

- K_3 = Fator que depende da forma de reunião das veias isoladas – cabos multipolares. (vide tabela abaixo)

Forma de reunião	K_3
Cabos unipolares, ou multipolares com veias paralelas (não torcidas)	1,00
Cabos multipolares, com veias torcidas (não flexíveis)	1,02
Cabos multipolares, com veias torcidas (flexíveis)	1,05

[Resistência do Condutor em Corrente Alternada]

A resistência em corrente alternada do condutor (R_{ca}) é calculada segundo a fórmula:

$$R_{ca} = R_{cct} (1 + Y_s + Y_p), \text{ em } \Omega/\text{Km.}$$

Sendo: $R_{cct} = R_{cc20} [1 + \alpha_{20} (t - 20)]$

$$Y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0,8 X_s}$$

$$X_s^2 = \frac{8\pi f}{R_{cct}} 10^{-4} K_s$$

Para 3 cabos unipolares ou cabo com 3 condutores

$$Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0,8 X_p^4} \left(\frac{d_c}{S} \right)^2 \left[0,312 \left(\frac{d_c}{S} \right)^2 + \frac{1,18}{\frac{X_p^4}{192 + 0,8 X_p^4} + 0,27} \right]$$

Para cabo com 2 condutores temos : $Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0,8 X_p^4} \left(\frac{d_c}{S} \right)^2 2,9$

$$X_p^2 = \frac{8\pi f}{R_{Rcct}} 10^{-4} K_p$$

Onde: R_{cct} = Resistência em corrente contínua do condutor à temperatura de operação, em Ω/Km .

$R_{cc_{20}}$ = Resistência em corrente contínua a 20°C do condutor, em Ω/Km .

α_{20} = 0,00393 para o cobre.

α_{20} = 0,00403 para o alumínio.

t = Temperatura do condutor, em °C.

Y_s = Fator devido ao efeito pelicular.

Y_p = Fator devido ao efeito de proximidade.

f = Frequência, em Hz.

d_c = Diâmetro do condutor, em mm.

S = Distância entre eixos dos condutores, em mm.

K_p e K_s = São experimentais.

Para cabos com condutores redondos e possuindo isolamento sólida extrudada: $K_p = K_s = 1$.