

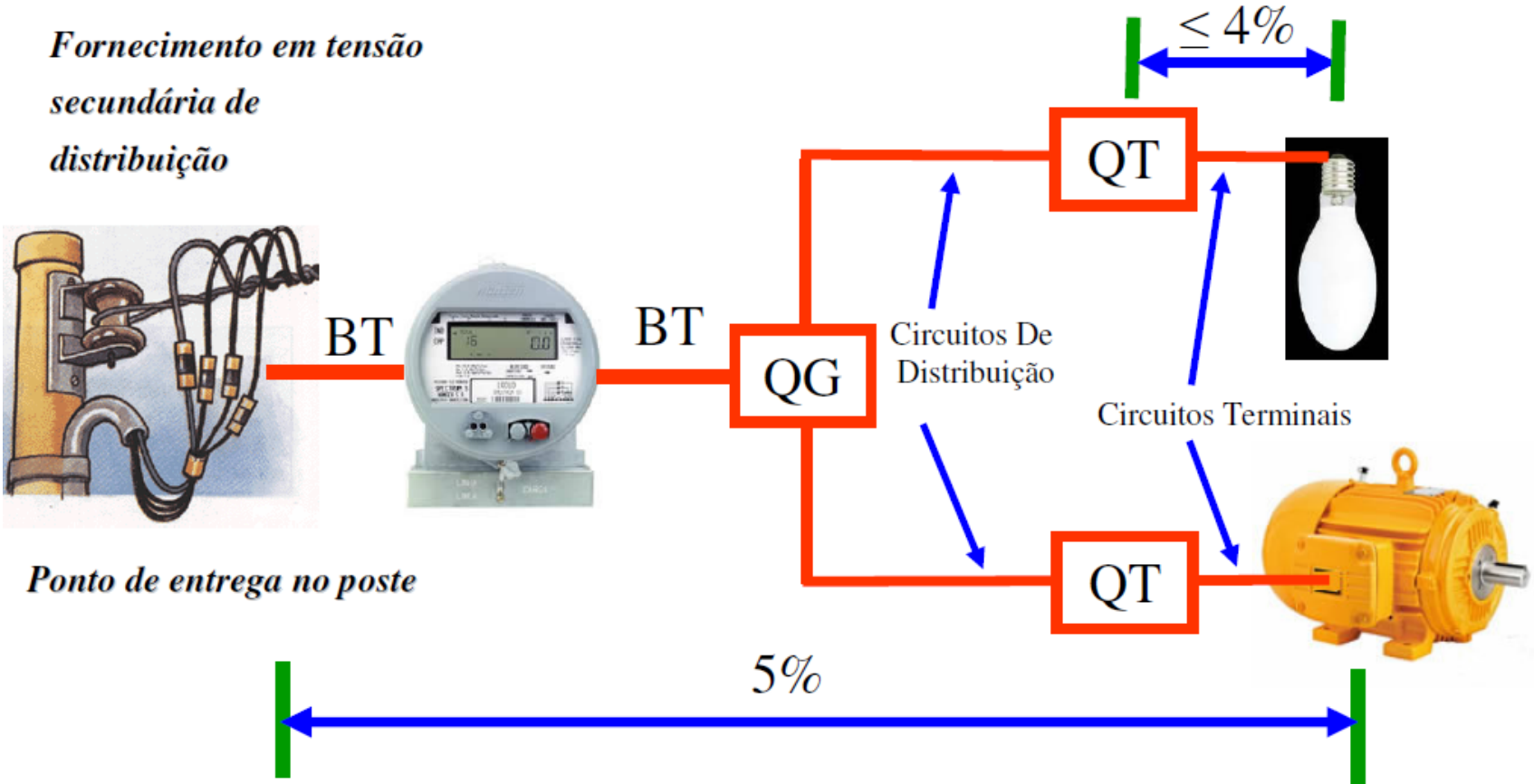
Projeto Elétrico Predial e Industrial

Aula 16 - Dimensionamento de Condutores Queda de tensão

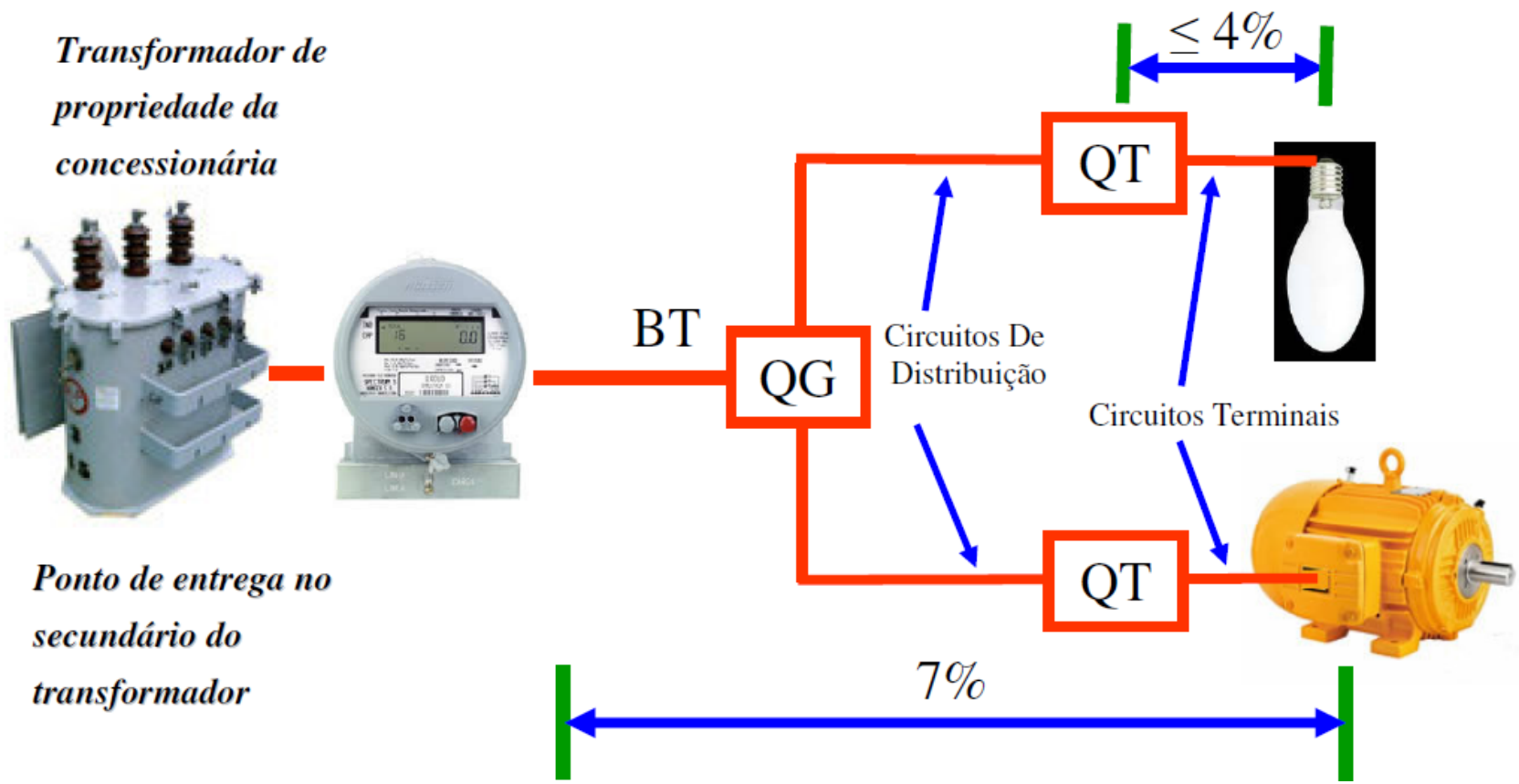
Queda de Tensão

A queda de tensão entre a origem da instalação e qualquer ponto de utilização não deve ser superior aos valores indicados na NBR 5410.

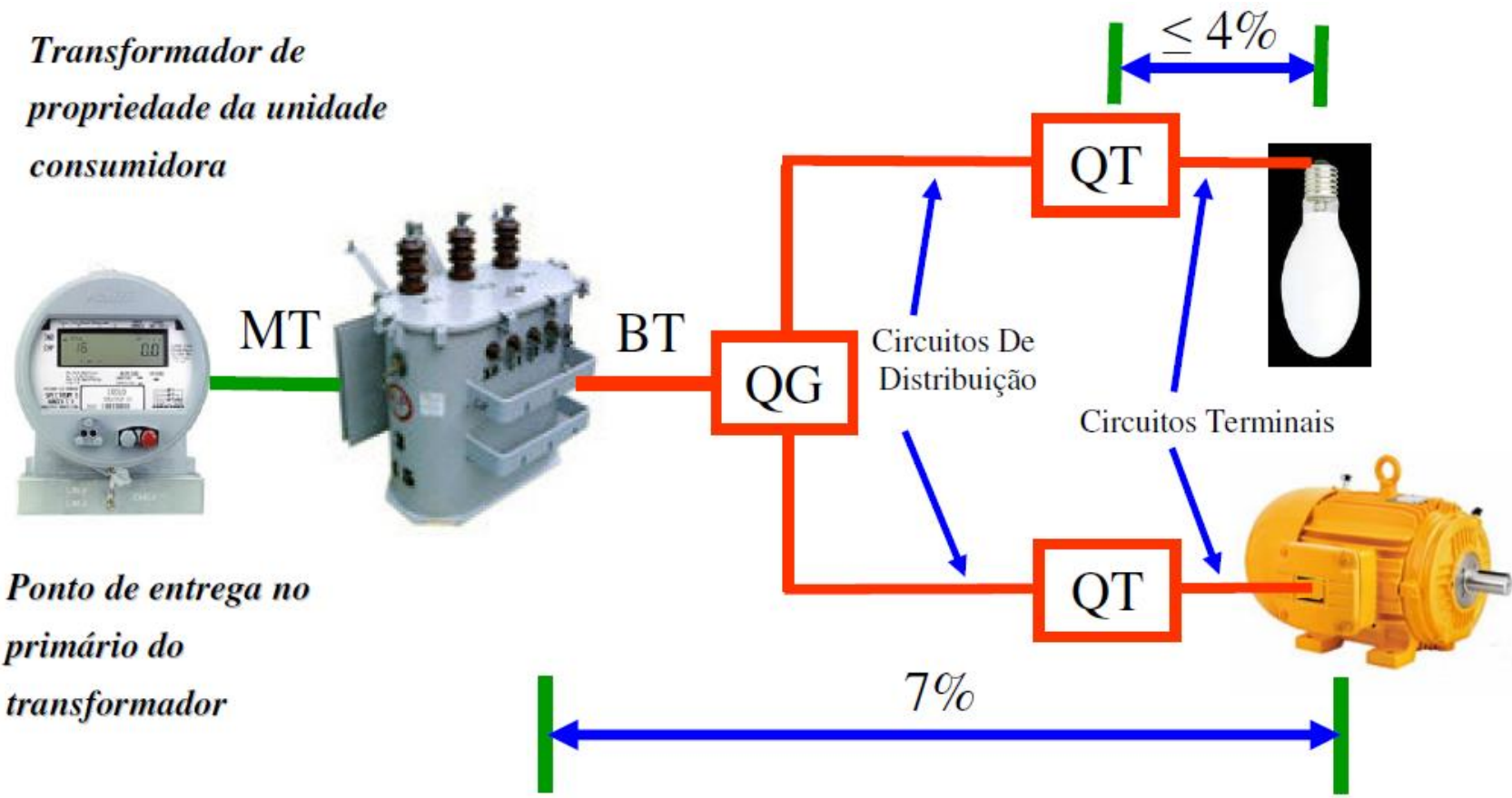
Queda de Tensão



Queda de Tensão

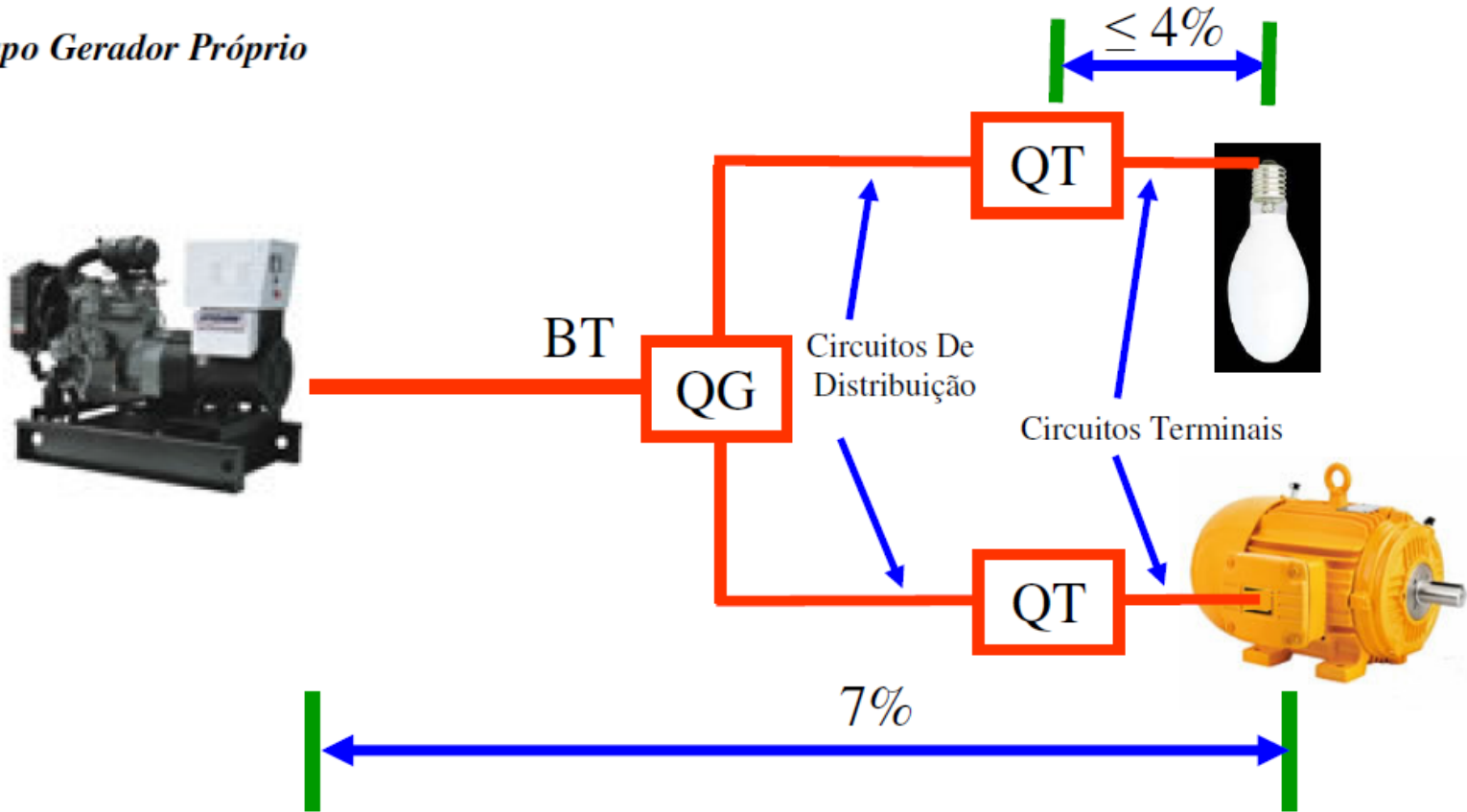


Queda de Tensão



Queda de Tensão

Grupo Gerador Próprio



Queda de Tensão

6.2.7.1 Em qualquer ponto de utilização da instalação, a queda de tensão verificada não deve ser superior aos seguintes valores, dados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:

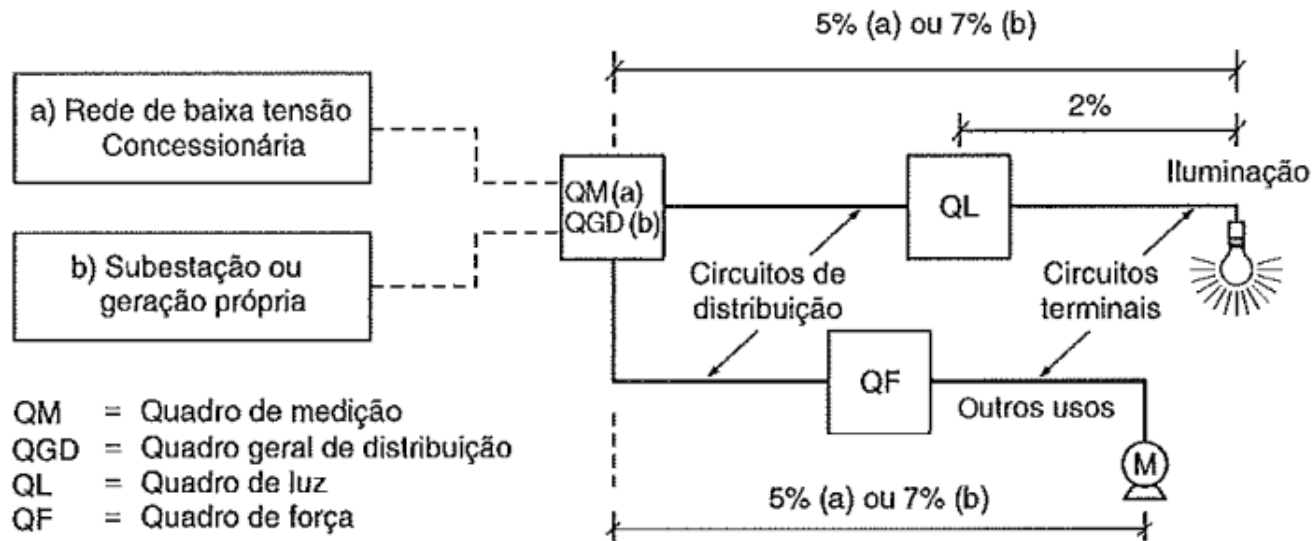
- a) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- b) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
- c) 5%, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;
- d) 7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio.

6.2.7.2 Em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4%.

6.2.7.3 Quedas de tensão maiores que as indicadas em 6.2.7.1 são permitidas para equipamentos com corrente de partida elevada, durante o período de partida, desde que dentro dos limites permitidos em suas normas respectivas.

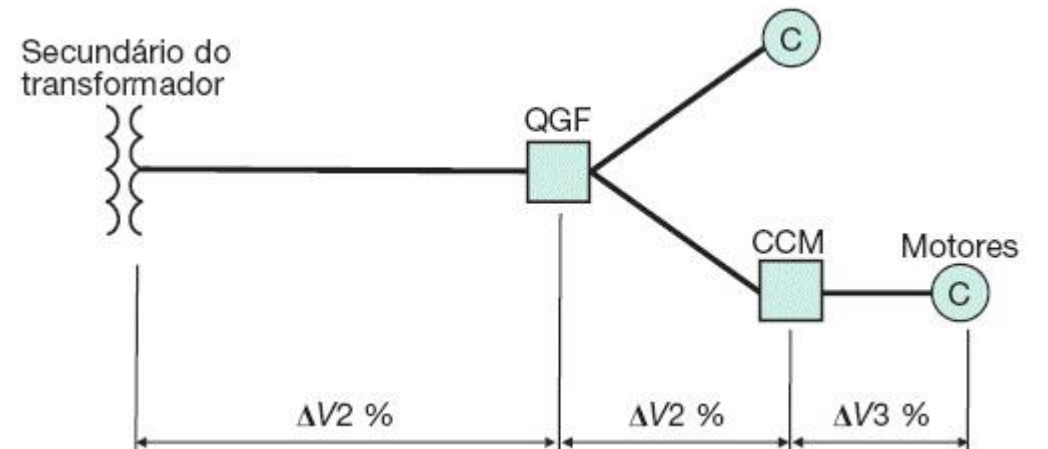
6.2.7.4 Para o cálculo da queda de tensão num circuito deve ser utilizada a corrente de projeto do circuito.

Queda de Tensão



CREDER, 2007.

MAMEDE FILHO, J., 2017



Queda de Tensão

Cálculo da Queda de Tensão

$$\text{Queda de tensão} = \frac{V_{\text{entrada}} - V_{\text{carga}}}{V_{\text{entrada}}}$$

Método 1 – Circuitos Monofásicos

$$S_c = \frac{200\rho \sum l.I_B}{\Delta V_c \cdot V_{fn}}$$

Onde

- S_c : seção em mm²;
- ΔV_c : queda de tensão máxima, em %;
- V_{fn} : tensão do circuito fase-neutro, em V;
- l : comprimento do circuito, em m
- I_B : corrente de projeto, em A;
- ρ : resistividade do material condutor = cobre = 1/56 Ω.mm²/m

Queda de Tensão

Método 1 – Circuitos Trifásicos

Sabendo a queda de tensão máxima

$$S_c = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot \rho \cdot \sum l \cdot I_B}{\Delta V_c \cdot V_{ff}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

Sabendo a seção do condutor

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I_B \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)}{10 \cdot N_{cp} \cdot V_{ff}} \text{ (\%)}$$

Onde

- S_c : seção em mm²;
- ΔV_c : queda de tensão máxima, em %;
- V_{ff} : tensão do circuito fase-fase, em V;
- l : comprimento do circuito, em m
- I_B : corrente de projeto, em A;
- ρ : resistividade do material condutor = cobre = 1/56 Ω.mm²/m
- N_{cp} : Número de condutores em paralelo por fase
- R : Resistência do condutor (mΩ/m)
- X : Reatância do condutor (mΩ/m)
- φ : Ângulo do fator de potência da carga (graus)

Queda de Tensão

Seção	Impedância de sequência positiva (mΩ/m)		Impedância de sequência zero (mΩ/m)						
	Resistência	Reatância	Resistência	Reatância					
1,5	14,8137	0,1378	16,6137	2,9262					
2,5	8,8882	0,1345	10,6882	2,8755	95	0,2352	0,1090	2,0352	2,5325
4	5,5518	0,1279	7,3552	2,8349	120	0,1868	0,1076	1,9868	2,5104
6	3,7035	0,1225	5,5035	2,8000	150	0,1502	0,1074	1,9502	2,4843
10	2,2221	0,1207	4,0222	2,7639	185	0,1226	0,1073	1,9226	2,4594
16	1,3899	0,1173	3,1890	2,7173	240	0,0958	0,1070	1,8958	2,4312
25	0,8891	0,1164	2,6891	2,6692	300	0,0781	0,1068	1,8781	2,4067
35	0,6353	0,1128	2,4355	2,6382	400	0,0608	0,1058	1,8608	2,3757
50	0,4450	0,1127	2,2450	2,5991	500	0,0507	0,1051	1,8550	2,3491
70	0,3184	0,1096	2,1184	2,5681	630	0,0292	0,1042	1,8376	2,3001

Queda de Tensão

Exercício 1:

Calcular a seção do condutor que liga um QGF ao CCM, sabendo-se que a carga é composta por dez motores de 10 cv, IV polos, 380 V, fator de serviço unitário (Tabela 6.3), e o comprimento do circuito é de 150 m. Adotar o condutor unipolar isolado em PVC, instalado no interior de canaleta não ventilada enterrada (método 61A – Tab. 3.4) , admitindo uma queda de tensão máxima de 3%

Queda de Tensão

Exercício 1:

$$I_{Bm} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot V_{ff} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} \cdot FS$$

I_{Bm} : Corrente de projeto ou de carga (A)

P_c : Potência da Carga (W)

V_{ff} : tensão do circuito fase-fase(V)

$\cos\varphi$: Fator de potência da carga

Fator de Serviço (Fs): é um número que pode ser multiplicado pela potência nominal do motor, a fim de se obter a carga permissível que o mesmo pode acionar, em regime contínuo. Representa uma potência adicional contínua.

Queda de Tensão

Exercício 1:

MAMEDE FILHO, J., 2017

TABELA 6.3 Motores assíncronos trifásicos com rotor em curto-circuito **Exemplo de aplicação 4.1**

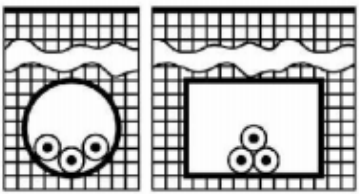
Potência Nominal	Potência Ativa	Corrente Nominal		Velocidade (rpm)	Fator de Potência	Relação Inp/In	Relação Cp/Cn	Conjugado Nominal	Rotor Bloqueado	Rendimento	Momento de Inércia
		220 V	380 V								
cv	kW						%	kgf · m	s	%	kg · m ²
II polos											
1	0,7	3,3	1,9	3.440	0,76	6,2	180,0	0,208	7,1	0,81	0,0016
3	2,2	9,2	5,3	3.490	0,76	8,3	180,0	0,619	6,0	0,82	0,0023
5	4	13,7	7,9	3.490	0,83	9,0	180,0	1,020	6,0	0,83	0,0064
7,5	5,5	19,2	11,5	3.480	0,83	7,4	180,0	1,540	6,0	0,83	0,0104
10	7,5	28,6	16,2	3.475	0,85	6,7	180,0	2,050	6,0	0,83	0,0179
15	11	40,7	23,5	3.500	0,82	7,0	180,0	3,070	6,0	0,83	0,0229
20	15	64,0	35,5	3.540	0,73	6,8	250,0	3,970	6,0	0,83	0,0530
25	18,5	69,0	38,3	3.540	0,82	6,8	300,0	4,960	6,0	0,86	0,0620
30	22	73,0	40,5	3.535	0,88	6,3	170,0	5,960	6,0	0,89	0,2090
40	30	98,0	54,4	3.525	0,89	6,8	220,0	7,970	9,0	0,90	0,3200
50	37	120,0	66,6	3.540	0,89	6,8	190,0	9,920	10,0	0,91	0,3330
60	45	146,0	81,0	3.545	0,89	6,5	160,0	11,880	18,0	0,91	0,4440
75	55	178,0	98,8	3.550	0,89	6,9	170,0	14,840	16,0	0,92	0,4800
100	75	240,0	133,2	3.560	0,90	6,8	140,0	19,720	11,0	0,93	0,6100
125	90	284,0	158,7	3.570	0,90	6,5	150,0	24,590	8,9	0,93	1,2200
150	110	344,0	190,9	3.575	0,90	6,8	160,0	29,460	27,0	0,93	1,2700
IV polos											
1	0,7	3,8	2,2	1.715	0,65	5,7	200,0	0,420	6,0	0,81	0,0016
3	2,2	9,5	5,5	1.720	0,73	6,6	200,0	1,230	6,0	0,82	0,0080
5	4	13,7	7,9	1.720	0,83	7,0	200,0	2,070	6,0	0,83	0,0091
7,5	5,5	20,6	11,9	1.735	0,81	7,0	200,0	3,180	6,0	0,84	0,0177
10	7,5	26,6	15,4	1.740	0,85	6,6	190,0	4,110	8,3	0,86	0,0328
15	11	43,0	26,0	1.760	0,75	7,8	195,0	6,120	8,1	0,86	0,0433
20	15	52,0	28,8	1.760	0,86	6,8	220,0	7,980	7,0	0,88	0,0900
25	18,5	64,0	35,5	1.760	0,84	6,7	230,0	9,970	6,0	0,90	0,1010
30	22	78,0	43,3	1.760	0,83	6,8	235,0	11,970	9,0	0,90	0,2630
40	30	102,0	56,6	1.760	0,85	6,7	215,0	15,960	10,0	0,91	0,4050
50	37	124,0	68,8	1.760	0,86	6,4	300,0	19,950	12,0	0,92	0,4440
60	45	150,0	83,3	1.765	0,86	6,7	195,0	23,870	12,0	0,92	0,7900
75	55	182,0	101,1	1.770	0,86	6,8	200,0	29,750	15,0	0,92	0,9000
100	75	244,0	135,4	1.770	0,87	6,7	200,0	39,670	8,3	0,92	1,0600
125	90	290,0	160,9	1.780	0,87	6,5	250,0	49,310	14,0	0,94	2,1000
150	110	350,0	194,2	1.780	0,87	6,8	270,0	59,170	13,0	0,95	2,5100
180	132	420,0	233,1	1.785	0,87	6,5	230,0	70,810	11,0	0,95	2,7300
200	150	470,0	271,2	1.785	0,87	6,9	230,0	80,000	17,0	0,95	2,9300
220	160	510,0	283,0	1.785	0,87	6,5	250,0	86,550	15,0	0,95	3,1200
250	185	590,0	327,4	1.785	0,87	6,8	240,0	95,350	15,0	0,95	3,6900
300	220	694,0	385,2	1.785	0,88	6,8	210,0	118,020	24,0	0,96	6,6600
380	280	864,0	479,5	1.785	0,89	6,9	210,0	149,090	25,0	0,96	7,4000
475	355	1.100,0	610,5	1.788	0,89	7,6	220,0	186,550	26,0	0,96	9,1000
600	450	1.384,0	768,1	1.790	0,89	7,8	220,0	265,370	29,0	0,96	12,1000

Queda de Tensão

Exercício 1:

$$I_{Bm} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot V_{ff} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} \cdot FS = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,86} \cdot 1 \cong 15,6 \text{ A}$$

$$I_{BT} = 10 \cdot 15,6 \cong 156 \text{ A}$$

61A		Cabos unipolares em eletroduto(de seção não-circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a) ⁸⁾	D
-----	---	---	---

$$S_c = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot \rho \cdot \sum l \cdot I_B}{\Delta V_c \cdot V_{ff}} = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,017 \cdot 150 \cdot 156}{3 \cdot 380} \cong 61,3 \text{ mm}^2$$

Seção do condutor de 70 mm^2

Queda de Tensão

Método 2 - Capacidade de corrente de curto-circuito

“Limitação da seção do condutor para uma determinada corrente de curto-circuito”

$$S_c = \frac{\sqrt{T_e} \cdot I_{cs}}{0,34 \cdot \sqrt{\log\left(\frac{234 + T_f}{234 + T_i}\right)}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

I_{cs} : Corrente simétrica de curto-circuito trifásico (kA)

T_e : Tempo de eliminação da falta (s)

T_f : Temperatura máxima de curto-circuito suportada pela isolação do condutor (°C)

T_i : Temperatura máxima admissível pelo condutor em regime normal de operação (°C)

Nota: Os valores de T_f e T_i são estabelecidos por norma, ou seja:

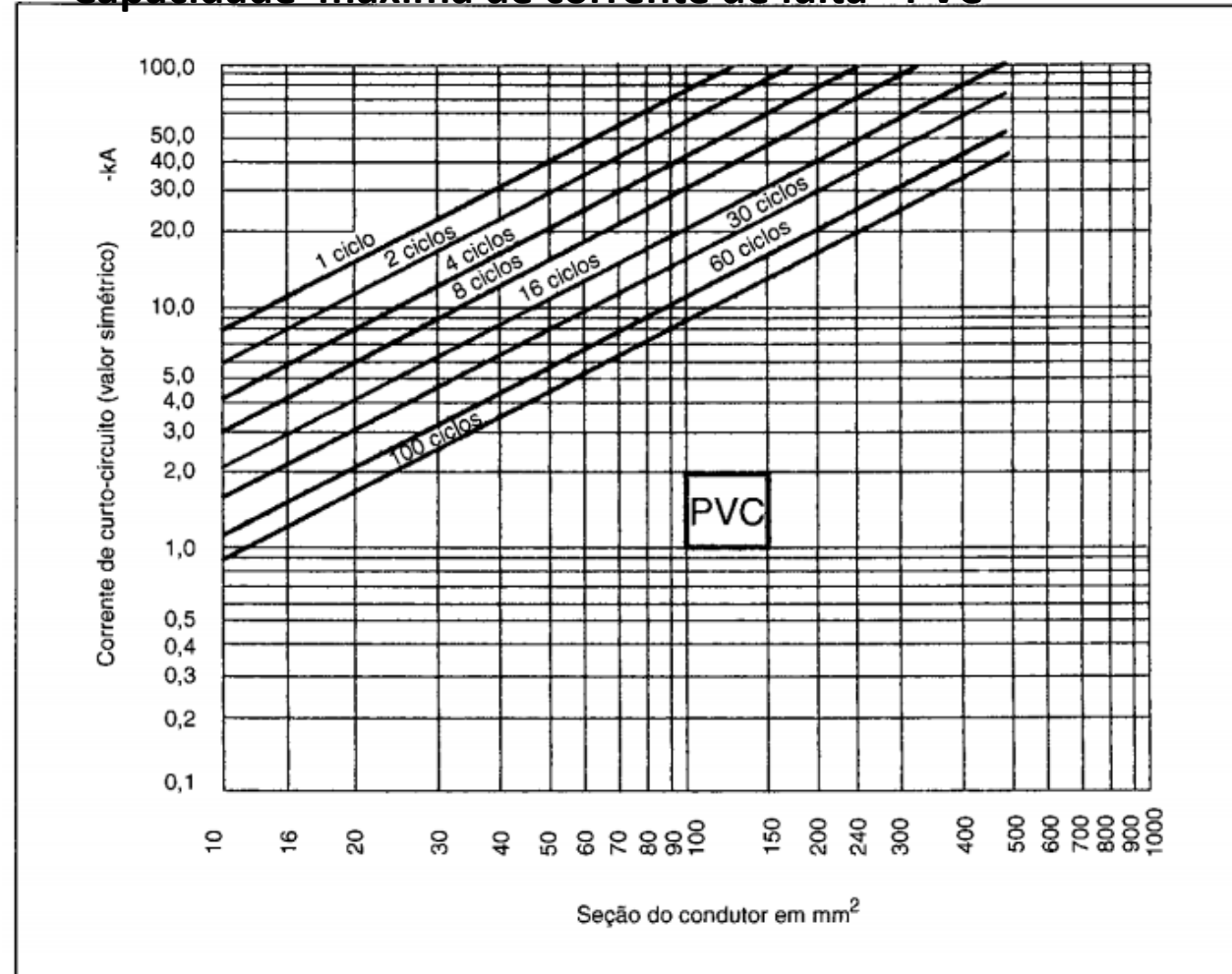
- Condutor com isolação PVC 70 °C – $T_f = 160$ °C e $T_i = 70$ °C

- Condutor com isolação EPR ou XLPE – $T_f = 250$ °C e $T_i = 90$ °C

Queda de Tensão

Método 2

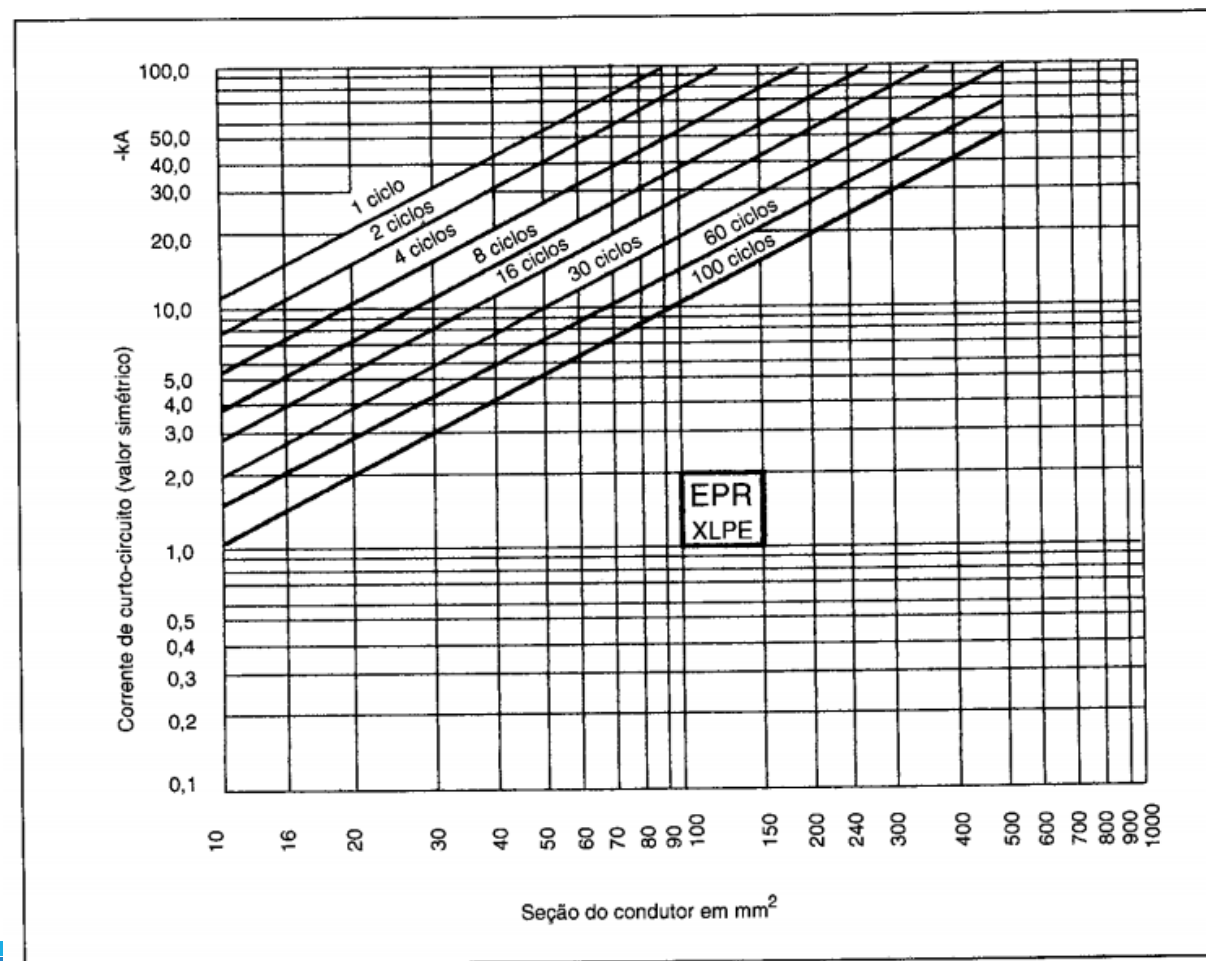
Capacidade máxima de corrente de falta - PVC



Queda de Tensão

Método 2

Capacidade máxima de corrente de falta – EPR / XLPE



Queda de Tensão

Método 2

Considerando que no exercício 1 foi utilizado um cabo de 2,5 mm² com isolamento de PVC para o dimensionamento dos circuitos terminais dos motores. Sabe-se que a corrente de curto-circuito trifásica simétrica calculada no barramento do CCM é de 1000 A e que o fusível utilizado para a proteção dos motores demora 0,5 s para eliminar o defeito.

Determine a seção mínima do condutor pelo critério da capacidade de corrente de curto-circuito.

$$S_c = \frac{\sqrt{0,5} \cdot 1}{0,34 \cdot \sqrt{\log\left(\frac{234 + 160}{234 + 70}\right)}} \cong 6,2 \text{ (mm}^2\text{)}$$

A seção mínima do condutor é de **10 mm²**

Queda de Tensão

Método 2

Considerando ainda que no exemplo 1 foi utilizado um cabo de 70 mm² com isolamento de PVC para o dimensionamento do circuito entre o QGF e CCM. Sabe-se que a corrente de curto-circuito trifásica simétrica calculada no barramento do QGF é de 10 kA e que o fusível utilizado para a proteção do circuito demora 0,5 s para eliminar o defeito.

Determine a seção mínima do condutor pelo critério da capacidade de corrente de curto-circuito. Pelo mesmo critério qual seria a seção mínima se a isolamento do cabo de PVC e de XLPE ?

$$S_{c\text{ PVC}} = \frac{\sqrt{0,5} \cdot 10}{0,34 \cdot \sqrt{\log\left(\frac{234 + 160}{234 + 70}\right)}} \cong 61,97 \text{ (mm}^2\text{)}$$

seção mínima de 70 mm²

$$S_{c\text{ XLPE}} = \frac{\sqrt{0,5} \cdot 10}{0,34 \cdot \sqrt{\log\left(\frac{234 + 250}{234 + 90}\right)}} \cong 49,81 \text{ (mm}^2\text{)}$$

seção mínima de 50 mm²

Queda de Tensão

Método 3 – Queda de queda de tensão unitário

$$\Delta V = \frac{10 \cdot V \cdot \Delta V(\%)}{l \cdot I_B} \text{ (V/A.km)}$$

Onde

- ΔV : queda de tensão, em V/A.km;
- $\Delta V(\%)$: queda de tensão máxima, em %;
- V : tensão do circuito, em V;
- l : comprimento do circuito, em m
- I_B : corrente de projeto, em A;

Queda de Tensão

Queda de tensão em V/A.km

seções nominais (mm ²)	eletroduto e eletrocalha (A) (material magnético)		eletroduto e eletrocalha (A) (material não-magnético)			
	circuito monofásico e trifásico		circuito monofásico		circuito trifásico	
	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95
1,5	23	27,4	23,3	27,6	20,2	23,9
2,5	14	16,8	14,3	16,9	12,4	14,7
4	9,0	10,5	8,96	10,6	7,79	9,15
6	5,87	7,00	6,03	7,07	5,25	6,14
10	3,54	4,20	3,63	4,23	3,17	3,67
16	2,27	2,70	2,32	2,68	2,03	2,33
25	1,50	1,72	1,51	1,71	1,33	1,49
35	1,12	1,25	1,12	1,25	0,98	1,09
50	0,86	0,95	0,85	0,94	0,76	0,82
70	0,64	0,67	0,62	0,67	0,55	0,59
95	0,50	0,51	0,48	0,50	0,43	0,44
120	0,42	0,42	0,40	0,41	0,36	0,36
150	0,37	0,35	0,35	0,34	0,31	0,30
185	0,32	0,30	0,30	0,29	0,27	0,25
240	0,29	0,25	0,26	0,24	0,23	0,21
300	0,27	0,22	0,23	0,20	0,21	0,18
400	0,24	0,20	0,21	0,17	0,19	0,15
500	0,23	0,19	0,19	0,16	0,17	0,14

Cabo Superastic, Cabo Superastic Flex, Fio Superastic e Afumex 750V.



NOTAS:

- A) As dimensões do eletroduto e da eletrocalha adotadas são tais que a área dos cabos não ultrapassa 40% da área interna dos mesmos;
- B) Os valores da tabela admitem uma temperatura no condutor de 70 °C.

Queda de Tensão

Queda de tensão em V/A.km

seções nominais (mm ²)	instalação ao ar livre ^(C)																	
	cabos unipolares ^(D)												cabos uni e bipolares		cabos tri e tetrapolares			
	circuito monofásico						circuito trifásico						circuito trifásico ^(B)		circuito monofásico ^(B)		circuito trifásico	
	s=10cm		s=20cm		s=2D		s=10cm		s=20cm		s=2D		FP-0,8	FP-0,95	FP-0,8	FP-0,95	FP-0,8	FP-0,95
1,5	23,6	27,8	23,7	27,8	23,4	27,6	20,5	24,0	20,5	24,1	20,3	24,0	20,2	23,9	23,3	27,6	20,2	23,9
2,5	14,6	17,1	14,7	17,1	14,4	17,0	12,7	14,8	12,7	14,8	12,5	14,7	12,4	14,7	14,3	16,9	12,4	14,7
4	9,3	10,7	9,3	10,7	9,1	10,6	8,0	9,3	8,1	9,3	7,9	9,2	7,8	9,2	9,0	10,6	7,8	9,1
6	6,3	7,2	6,4	7,2	6,1	7,1	5,5	6,3	5,5	6,3	5,3	6,2	5,2	6,1	6,0	7,1	5,2	6,1
10	3,9	4,4	3,9	4,4	3,7	4,3	3,4	3,8	3,4	3,8	3,2	3,7	3,2	3,7	3,6	4,2	3,1	3,7
16	2,6	2,8	2,6	2,8	2,4	2,7	2,2	2,4	2,3	2,5	2,1	2,4	2,0	2,3	2,3	2,7	2,0	2,3
25	1,73	1,83	1,80	1,86	1,55	1,76	1,52	1,59	1,57	1,62	1,40	1,53	1,32	1,49	1,50	1,71	1,31	1,48
35	1,33	1,36	1,39	1,39	1,20	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	1,05	1,04	1,11	1,07	0,93	0,97	0,93	0,91	0,98	0,94	0,82	0,85	0,75	0,82	0,85	0,93	0,74	0,81
70	0,81	0,76	0,87	0,80	0,70	0,71	0,72	0,67	0,77	0,70	0,63	0,62	0,55	0,59	0,62	0,67	0,54	0,58
95	0,65	0,59	0,71	0,62	0,56	0,54	0,58	0,52	0,64	0,55	0,50	0,47	0,43	0,44	0,48	0,50	0,42	0,43
120	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	0,40	0,41	0,35	0,35
150	0,50	0,42	0,56	0,45	0,42	0,38	0,45	0,37	0,51	0,40	0,38	0,34	0,31	0,30	0,35	0,34	0,30	0,30
185	0,44	0,36	0,51	0,39	0,37	0,32	0,40	0,32	0,46	0,35	0,34	0,29	0,27	0,25	0,30	0,29	0,26	0,25
240	0,39	0,30	0,45	0,33	0,33	0,27	0,35	0,27	0,41	0,30	0,30	0,24	0,23	0,21	0,26	0,24	0,22	0,20
300	0,35	0,26	0,41	0,29	0,30	0,23	0,32	0,23	0,37	0,26	0,28	0,21	0,21	0,18	0,23	0,20	0,20	0,18
400	0,32	0,22	0,37	0,26	0,27	0,21	0,29	0,20	0,34	0,23	0,25	0,19	0,19	0,15	—	—	—	—
500	0,28	0,20	0,34	0,23	0,25	0,18	0,26	0,18	0,32	0,21	0,24	0,17	0,17	0,14	—	—	—	—
630	0,26	0,17	0,32	0,21	0,24	0,16	0,24	0,16	0,29	0,19	0,22	0,15	0,16	0,12	—	—	—	—
800	0,23	0,15	0,29	0,18	0,22	0,15	0,22	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,15	0,11	—	—	—	—
1000	0,21	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,20	0,13	0,25	0,16	0,20	0,13	0,14	0,10	—	—	—	—


NOTAS: Cabo Sintenax, Cabo Sintenax Flex e Voltalene.

A) Os valores da tabela admitem uma temperatura no condutor de 70 °C;

B) Válido para instalação em eletroduto não-magnético e diretamente enterrado;

C) Aplicável a fixação direta a parede ou teto, ou eletrocalha aberta, ventilada ou fechada, espaço de construção, bandeja, prateleira, suportes e sobre isoladores;

D) Aplicável também ao Cabo Superastic Flex, Cabo Superastic, Fio Superastic e Cabo Afumex 750V sobre isoladores.



Queda de Tensão

Exercício 3: **Queda de tensão em V/A.km**

Considerando o exercício 1 calcule o seção do condutor pelo método 3.

$$I_{Bm} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot V_{ff} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} \cdot FS = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,86} \cdot 1 \cong 15,6 A$$

$$I_{BT} = 10 \cdot 15,6 \cong 156 A$$

$$\Delta V = \frac{10 \cdot V \cdot \Delta V(\%)}{l \cdot I_B} = \frac{10 \cdot 380 \cdot 3}{150 \cdot 156} \cong 0,49 V/A. km$$

Para Cabo Superastic, Cabo Superastic Flex, Fio Superastic e Afumex 750 V. (Prysmian)

- Circuito em instalação em eletroduto **magnético** - Secção mínima de **120 mm²**
- Circuito em instalação em eletroduto **não-magnético** - Secção mínima de **95 mm²**

Queda de Tensão

Método 4 – Queda de tensão percentual

$$e\% = P \cdot \sum l$$
$$e\%_T = \sum e\%$$

Queda de Tensão

Tabela 3.18 Soma das Potências em Watts \times Distância em Metros $V = 127$ Volts

Método 4

mm ²	Queda de Tensão (e%)				
	1	2	3	4	5
1,5	7 016	14 032	21 048	28 064	35 081
2,5	11 694	23 387	35 081	46 774	58 468
4	18 710	37 419	56 129	74 839	93 548
6	28 064	56 129	84 193	112 258	140 322
10	46 774	93 548	140 322	187 096	233 871
16	74 839	149 677	224 516	299 354	374 193
25	116 935	233 871	350 806	467 741	584 676
35	163 709	327 419	491 128	654 837	818 547
50	233 871	467 741	701 612	935 482	1 169 353
70	327 419	654 837	982 256	1 309 675	1 637 094
95	444 354	888 708	1 333 062	1 777 416	2 221 770
120	561 289	1 122 578	1 683 868	2 245 157	2 806 446
150	701 612	1 403 223	2 104 835	2 806 446	3 508 058
185	865 321	1 730 642	2 595 963	3 461 283	4 326 604
240	1 122 578	2 245 157	3 367 735	4 490 314	5 612 892
300	1 403 223	2 806 446	4 209 669	5 612 892	7 016 115
400	1 807 964	3 741 928	5 612 892	7 483 856	9 354 820
500	2 338 705	4 677 410	7 016 115	9 354 820	11 693 525

Queda de Tensão

Método 4

Tabela 3.19 Soma das Potências em Watts × Distância em Metros $V = 220$ Volts
(2 Condutores)

Condutor (mm ²)	Queda de Tensão (e%)				
	1%	2%	3%	4%	5%
1,5	21 054	42 108	63 162	84 216	105 270
2,5	35 090	70 180	105 270	140 360	175 450
4	56 144	112 288	168 432	224 576	280 720
6	84 216	168 432	252 648	336 864	421 080
10	140 360	280 720	421 080	561 440	701 800
16	224 576	449 152	673 728	898 304	1 122 880
25	350 900	701 800	1 052 700	1 403 600	1 754 500
35	491 260	982 520	1 473 780	1 965 040	2 456 300
50	701 800	1 403 600	2 105 400	2 807 200	3 509 000
70	982 520	1 965 040	2 947 560	3 930 080	4 912 600
95	1 333 420	2 666 840	4 000 260	5 333 680	6 667 100
120	1 684 320	3 368 640	5 052 960	6 737 280	8 421 600
150	2 105 400	4 210 800	6 316 200	8 421 600	10 527 000
185	2 596 660	5 193 320	7 789 980	10 360 640	12 983 300
240	3 368 640	6 737 280	10 105 920	13 474 560	16 843 200
300	4 210 800	8 421 600	12 632 400	16 843 200	21 054 000
400	5 614 400	11 228 800	16 843 200	22 457 600	28 072 000
500	7 018 000	14 036 000	21 054 000	28 072 000	35 090 000

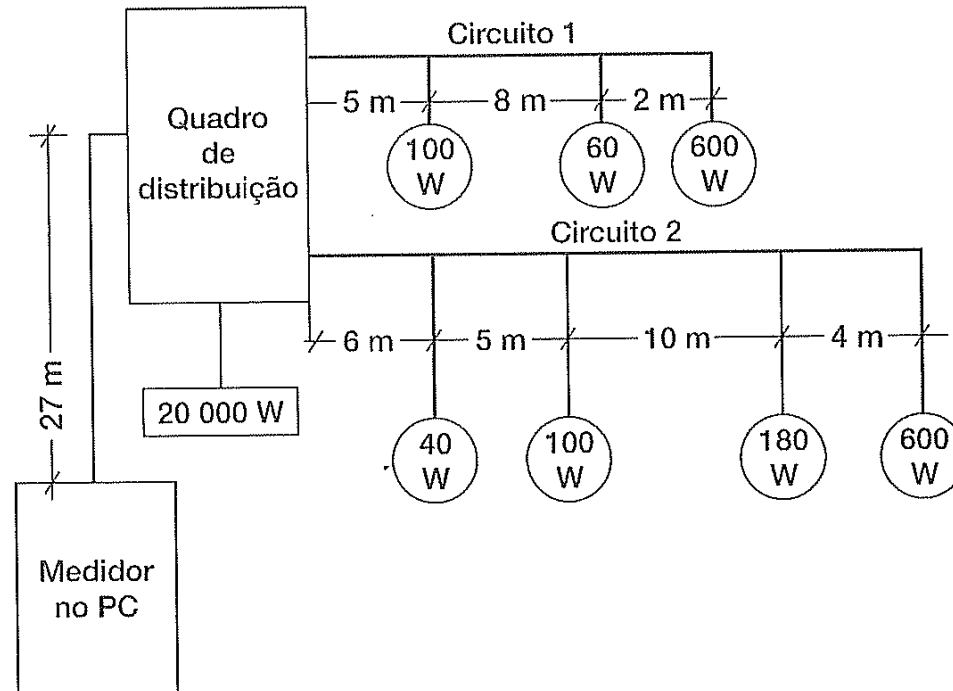
CREDER, 2007

Observação: Para circuitos trifásicos, multiplicar as distâncias por $\frac{\sqrt{3}}{2} = 0,866$.

Queda de Tensão

Exemplo 4:

Dimensionar o alimentador e ramais de um apartamento situado no 9º andar com dois circuitos de acordo com a figura abaixo. Tensão de 127 V.



Queda de Tensão

Exemplo:

Circuito 1

$$e\% = 100 * 5 = 500 \text{ Wm}$$

$$e\% = 60 * (5 + 8) = 780 \text{ Wm}$$

$$e\% = 600 * (5 + 8 + 2) = 9000 \text{ Wm}$$

$$e\%_T = \sum e\% = 500 + 780 + 9000 = 10.280 \text{ Wm}$$

$$e\% = 2\%$$

Seção de **1,5 mm²**

Exemplo:

Circuito 2

$$e\% = 40 * 6 = 240 \text{ Wm}$$

$$e\% = (100) * (6 + 5) = 1.100 \text{ Wm}$$

$$e\% = (180) * (6 + 5 + 10) = 3.780 \text{ Wm}$$

$$e\% = (600) * (6 + 5 + 10 + 4) = 15.000 \text{ Wm}$$

$$e\%_T = \sum e\% = 240 + 1100 + 3780 + 15000 = 20120 \text{ Wm}$$

$$e\% = 2\%$$

Seção de **2,5 mm²**

Queda de Tensão

Exemplo:

Circuito de entrada 3F

$$e\% = 20.000 * 27 * 0,866 = 467.640 \text{ Wm}$$

$$e\% = 3 \%$$

Seção de **16 mm²**

Circuito de entrada 2F 220 V

$$e\% = 20.000 * 27 = 540.000 \text{ Wm}$$

$$e\% = 3 \%$$

Seção de **16 mm²**

Circuito de entrada 2F 127 V

$$e\% = 20.000 * 27 = 540.000 \text{ Wm}$$

$$e\% = 3 \%$$

Seção de **50 mm²**

A norma pede máxima de 4% entre o quadro e os dispositivos garantindo 3% tem maior segurança.

Para o dimensionamento final deve escolher o condutor com maior área examinado os seguintes critérios:

- Queda de tensão admissível;
- Capacidade de corrente (Aula anterior).

Limitação do comprimento do circuito em função da corrente de curto-circuito fase e terra.

O comprimento máximo de um circuito deve ser limitado em função da atuação do dispositivo de proteção para uma dada corrente de curto-circuito fase e terra no ponto de sua instalação.

A seguinte equação permite definir o comprimento máximo do circuito trifásico em função das impedâncias dos vários componentes do sistema.

$$L_c = \frac{0,95 \cdot V_{ff}}{\sqrt{3} \cdot I_{ft}} - Z_{mp} \cdot \frac{2 \cdot Z_{jp}}{1000} \quad (m)$$

V_{ff} : tensão do circuito fase-fase, em V;

I_{ft} : Corrente de curto-circuito que assegura a atuação da proteção, em A;

Z_{mp} : Impedância de sequencia passiva positiva da fonte a barra de derivação circuito, em Ω ;

Impedância de sequencia passiva positiva a jusante da barra, o qual deve ter seu valor limitado ao comprimento L_c , em $m\Omega/m$.

Caso o circuito não possa ser reduzido o comprimento do circuito deve se elevar o valor do condutor até o limite de comprimento máximo.

Seção Mínima de Condutores

Tabela 47 — Seção mínima dos condutores¹⁾

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm ² - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força ²⁾	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu ³⁾
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
Linhas flexíveis com cabos isolados		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu ⁴⁾
		Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu

¹⁾ Seções mínimas ditadas por razões mecânicas
²⁾ Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.
³⁾ Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².
⁴⁾ Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².

Condutor Neutro

Conforme NBR 5410, apenas nos **circuitos trifásicos** é admitida a **redução do condutor neutro**. Tal procedimento deve atender, simultaneamente, as três condições seguintes:

- O circuito for presumivelmente equilibrado, em serviço normal;
- A corrente das fases não contiver uma taxa de 3ª harmônica e seus múltiplos superior a 15%; e
- O condutor neutro for protegido contra sobrecorrentes.

Condutor Neutro

Nestes casos, os seguintes valores mínimos podem ser adotados para a seção do condutor neutro para **circuitos 3F**:

- **Em nenhuma circunstância o condutor neutro poderá ser comum a vários circuitos.**

Tabela 48 — Seção reduzida do condutor neutro¹⁾

Seção dos condutores de fase mm ²	Seção reduzida do condutor neutro mm ²
$S \leq 25$	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

¹⁾ As condições de utilização desta tabela são dadas em 6.2.6.2.6.

Condutor de Proteção (terra) - PE

A seção do condutor de proteção pode ser determinada através da seguinte tabela:

Tabela 58 — Seção mínima do condutor de proteção

Seção dos condutores de fase S mm^2	Seção mínima do condutor de proteção correspondente mm^2
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$



Condutor de Proteção (terra) - PE

A seção do condutor de proteção pode ser determinada também pela seguinte equação:

$$S_p = \frac{\sqrt{I_{ft}^2 \cdot T_c}}{K} \text{ (mm}^2\text{)}$$

I_{ft} : Valor eficaz da corrente de falta fase e terra, em A;

T_c : Tempo de eliminação do defeito pelo dispositivo de proteção;

K: fator que depende da natureza do material do conductor.

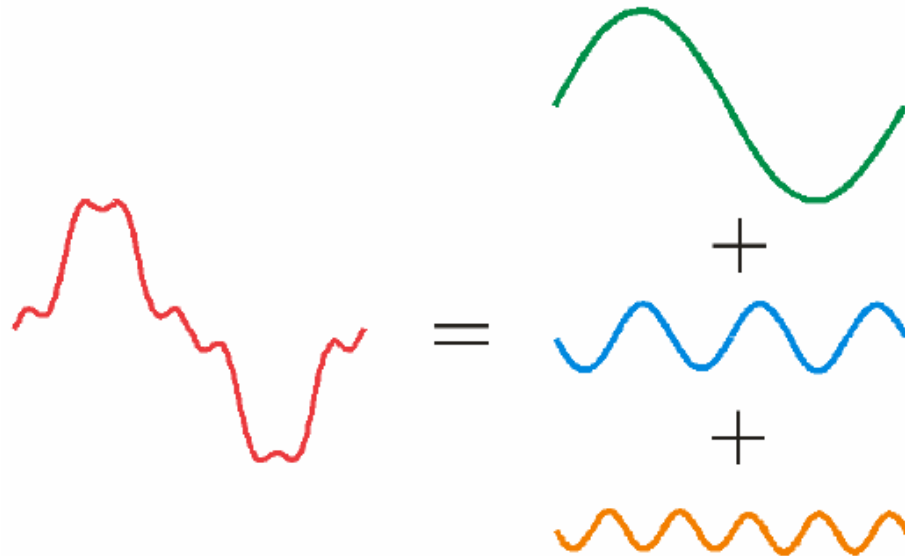
Fator K

- Para cabos de proteção com isolamento não incorporados
 - PVC K=143
 - EPR ou XLPE K = 176
- Para cabos de proteção incorporados a cabos multipolares
 - PVC K=115
 - EPR ou XLPE K = 143
- Para condutores nus
 - PVC K=228
 - EPR ou XLPE K = 159

Harmônicos

Harmônicos são ondas senoidais, de tensão ou de corrente, cujas frequências são múltiplas inteiras da frequência fundamental.

As ondas distorcidas podem ser decompostas em uma soma de ondas senoidais de frequências diversas, múltiplas da fundamental.



Harmônicos

Programa didático de conceitos sobre Harmônicos de Alex McEACHERN

Controles de Harmônicas

Mostrar cursor

Amplitude Ângulo de fase

(Fundamental)
- Ordem da Harmonica -

Amplitude Ângulo de fase

- Ordem da Harmonica -

Amplitude Ângulo de fase

- Ordem da Harmonica -

Amplitude Ângulo de fase

- Ordem da Harmonica -

Amplitude Ângulo de fase

- Ordem da Harmonica -

Amplitude Ângulo de fase

- Ordem da Harmonica -

Fornas de onda pré-definidas

Onda Triângular

Ponte retificadora trifásica

Controle de fase de corrente

Tensão plana

Tensão entalhada

Jogar com harmônicas pares

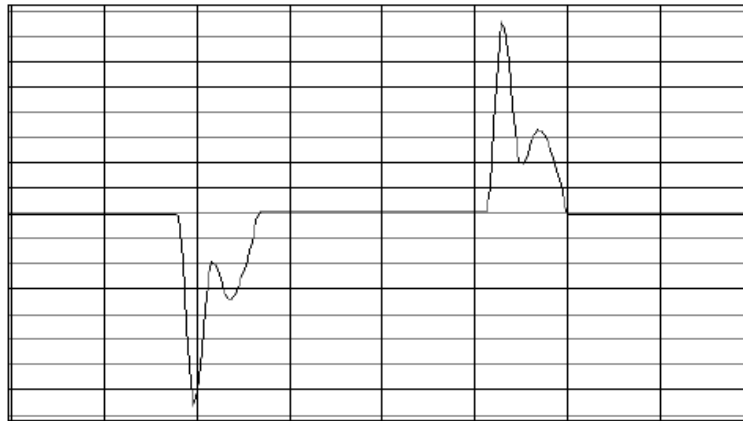
Copiar

Harmônicos

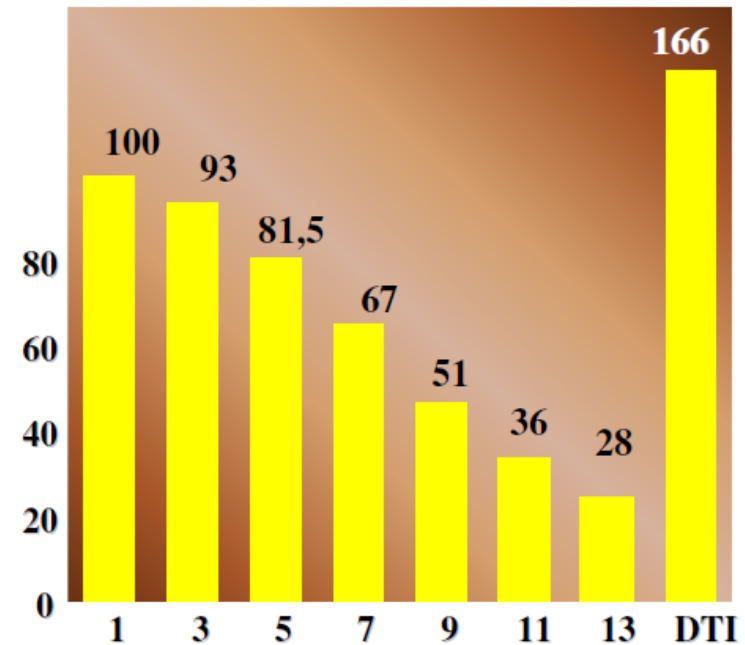
Lâmpada Fluorescente Compacta (Monofásica):

DH – Distorção Harmônica

DTI - Ordem Harmônica - n



DH (%)

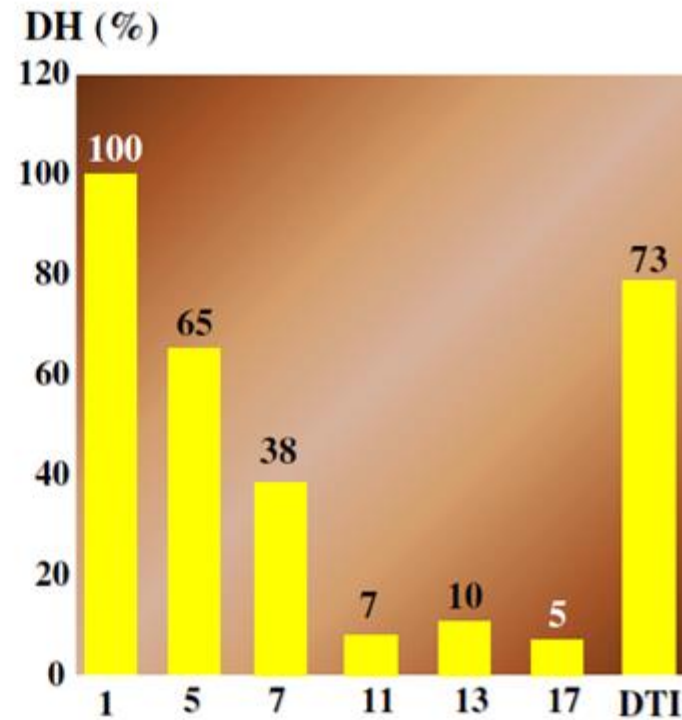
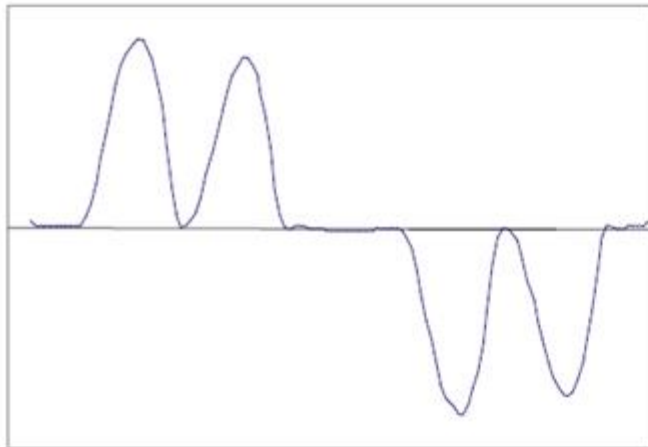


Harmônicos

Inversor de frequência PWM (Trifásico)

DHT – distorção harmônica total

DTI - Ordem Harmônica - n



Harmônicos

Efeitos provocados por Harmônicos:

- Operação indevida de equipamentos: Eletrônicos, de controle, proteção e outros.
- Erros de leitura em equipamentos de medição;
- Sobretensões: Comprometimento da isolação e da vida útil dos equipamentos.
- Sobrecorrentes: **Efeitos térmicos nocivos aos equipamentos.**
- Interferências em sistemas de comunicação: Principalmente sinais de rádio.
- Perdas excessivas em cabos e transformadores;
- Ruídos audíveis;
- Ressonâncias série e paralela, entre outros.

Harmônicos

Fatores de Correção para Harmônicos:

Quando, num circuito trifásico com neutro ou num circuito com duas fases e neutro, a taxa de **terceira harmônico** e seus múltiplos for superior a **33 %**, a corrente que circula pelo neutro é superior à corrente das fases. A seção do condutor neutro pode ser determinada calculando-se a corrente no neutro sob a forma:

$$I_N = f_h \cdot I'_B \quad \rightarrow \quad I'_B = \sqrt{I_1^2 + \sum_2^n I_n^2}$$

Onde:

- I'_B : corrente de projeto corrigida;
- I_1, I_n : corrente fundamental e harmônicas;
- f_h : fator de correção em função da taxa de harmônicos.

Harmônicos

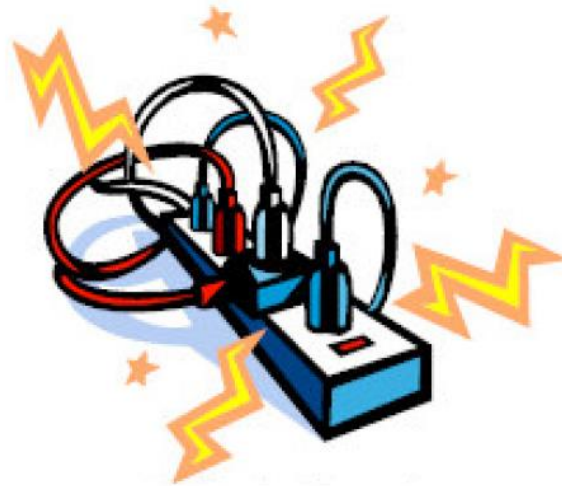
Fator f_h Para determinação da corrente de neutro:

Tabela F.1 — Fator f_h para a determinação da corrente de neutro

Taxa de terceira harmônica	f_h	
	Circuito trifásico com neutro	Circuito com duas fases e neutro
33% a 35%	1,15	1,15
36% a 40%	1,19	1,19
41% a 45%	1,24	1,23
46% a 50%	1,35	1,27
51% a 55%	1,45	1,30
56% a 60%	1,55	1,34
61% a 65%	1,64	1,38
$\geq 66\%$	1,73	1,41

Sobrecarga e Curto-Circuito

A sobrecarga não é exatamente um critério de dimensionamento dos condutores, entretanto, intervêm na determinação de sua seção.



Sobrecarga e Curto-Circuito

Para que a proteção dos condutores contra sobrecargas fique assegurada, as características de atuação do dispositivo a provê-la devem ser tais que:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \quad \text{e} \quad I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

Onde:

- I_B : corrente de projeto, em A;
- I_Z : capacidade de condução de corrente dos condutores;
- I_N : corrente nominal do dispositivo de proteção (ou corrente de ajuste para dispositivos ajustáveis), nas condições previstas para sua instalação.
- I_2 : corrente convencional de atuação, para disjuntores, ou corrente convencional de fusão, para fusíveis.

REVISÃO

- Queda de tensão
- Secção mínima (NBR)
- Condutor Neutro
- Condutor de proteção
- Harmônicos
- Introdução sobrecarga e curto-circuito