

## CONDUTORES ELÉTRICOS

### A - Características Gerais:

#### 1 - Introdução:

Todo e qualquer circuito ou instalação elétrica possui obrigatoriamente condutores elétricos, sendo que sua variedade é quase que ilimitada no que se refere tanto à combinação dos vários tipos de materiais condutores e isolantes, dimensões, formato da seção, formação, aplicação, como aos seus acessórios

Restringiremo-nos ao estudo dos condutores elétricos mais utilizados em instalações elétricas de baixa tensão. Antes convém, apresentar três definições básicas:

- a) **Condutor:** Elemento metálico, geralmente de forma cilíndrica, com a função específica de transportar corrente elétrica.
- b) **Fio:** Corpo de metal estirado usualmente de forma cilíndrica, e de seção circular.
- c) **Cabo:** Conjunto de fios encordoados, isolados ou não entre si, podendo o conjunto ser isolado ou não.

#### 2 - Metais Utilizados:

Os metais de condução de corrente mais utilizados pelas suas características são o cobre e o alumínio. Onde esses metais apresentam algumas dificuldades de uso, recorre-se a outros materiais como o ouro, platina, prata, mercúrio, ou então ligas especiais como o latão, bronze, ou ainda associações do cobre com o aço obtendo-se o copperweld, e do alumínio com o aço obtendo-se o alumueid.

##### a) Alumínio:

Tem ponto de fusão de  $658^{\circ}\text{C}$  e um alto poder de oxidação, sendo que seu óxido é isolante elétrico e térmico, que é um grave inconveniente nas soldas e conexões, as quais devem ser feitas através de conectores bimetálicos com produtos antioxidantes.

##### b) Cobre:

Tem ponto de fusão de  $1083^{\circ}\text{C}$  e é atacado em ambientes bastante agressivos ou oxidado a elevadas temperaturas, o que torna difícil a execução de peças de cobre fundido.

### 3 - Bitólas:

Até 1982 eram usadas no Brasil as escalas americanas AWG e MCM. Atualmente utilizamos a escala milimétrica, normalizada em 1980, porém produzida para comercialização só no início de 1983.

a) **AWG:** Era normalizada no país, tendo sido idealizada por Brawn com 40 termos em que os diâmetros estão numa progressão geométrica que corresponde aos passos sucessivos na operação de trefila.

$$D_n = D \cdot q^{n-1}$$

onde a razão  $q = 0,890527175$

$$D = 11,684\text{mm (diâmetro do primeiro termo } 0000=4/0).$$

b) **MCM:** Embora não sendo normalizada, era de uso corrente em nosso país. A escala MCM na verdade é um múltiplo da unidade CM, que por sua vez vem da unidade inglesa MIL, que representa um diâmetro igual a milésima parte da polegada.

Portanto: 1MIL = 0,001 pol ou 0,0254mm

$$1\text{CM} = (\pi/4) \cdot (0,0254)^2 = 5,067 \cdot 10^{-4} \text{mm}^2$$

$$1\text{MCM} = 1000 \cdot 5,067 \cdot 10^{-4} = 0,5067\text{mm}^2$$

$$\text{Por exemplo: } S_{400\text{MCM}} = 400 \cdot 0,5067 = 202,68\text{mm}^2$$

$$S_{600\text{MCM}} = 600 \cdot 0,5067 = 304,02\text{mm}^2$$

c) **Escala Milimétrica:** Tem os seus termos numa sequência pratico-econômica e não matemática. Já vem sendo utilizada há muito tempo nos países europeus e sulamericanos, conforme as normas IEC. Abordaremos preferencialmente os condutores nesta escala.

### 4- Forma-da Seção dos Condutores:

A seção dos condutores geralmente é de forma circular, entretanto, dependendo da aplicação podem ser em forma de quadrado, retângulo, trapézio, coroa, "T", "U", "L", "H", "I", etc.

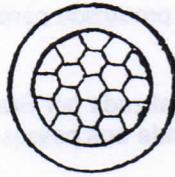
O cabo apresenta maior flexibilidade em relação aos condutores sólidos. Sendo concêntrico, tem um fio central, em redor do qual são colocadas, em forma de espiral, uma ou mais coroas, cada uma com  $6n$  fios, com a mesma seção do central ( $n$  é o número da coroa).

O cabo pode ter a seção:

a) **Circular Normal:** Formado por vários fios de seção circular que lhe conferem uma boa flexibilidade.



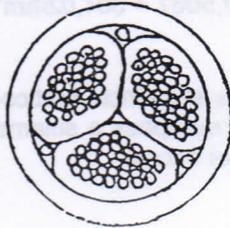
b) **Circular Compacta:** Formado por varios fios de seção circular que depois de encordoados são compactados, reduzindo-se os espaços internos, tendo-se um cabo de reduzido diâmetro e razoável flexibilidade.



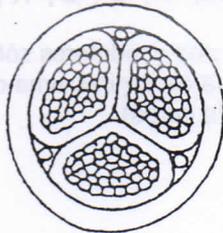
c) **Circular Ultra-Flexível:** Formado por um grande número de fios de seção circular, os quais podem ter encordoamento normal ou duplo (várias cochas), obtendo-se então um cabo ultra-flexível.



d) **Setorial Normal:** É um cabo múltiplo, tendo os seus condutores-polos em forma de setores, os quais são formados por fios de seção circular. O cabo perde um pouco da flexibilidade, pois são reduzidos apenas os espaços entre seus polos.



e) **Setorial Compactado:** Trata-se de um cabo idêntico ao setorial normal, porém não muito flexível, pois os fios de seus polos são também compactados, obtendo-se um cabo múltiplo de reduzido diâmetro.



f) **Circular Conci:** É um cabo pouco flexível que tem em seu núcleo um canal (por onde passa óleo), sendo que suas várias coroas possuem 8 segmentos anelares, encordoados helicoidalmente.



## 5 - Tabela de Dados Construtivos:

Bitola			Seção mm <sup>2</sup>	Formação Número de fios - φN (mm)	Diâmetro Condutor Nú "Dc" (mm)	PVC Espessura "E" (mm)	Diâmetro Condutor + Isol. "De" (mm)	Peso (kg/KM)		
AWG	mm <sup>2</sup>	MCM						Cobre	PVC	Alum.
16			1,309	1-1,291	1,29	0,79	2,87	11,87	7,1	3,52
	1,5		1,500	1-1,382	1,38	0,79	2,96	13,60	7,4	4,14
14			2,081	1-1,628	1,63	0,79	3,21	18,87	8,2	5,75
	2,5		2,500	1-1,784	1,78	0,79	3,36	22,67	8,8	6,91
12			3,309	1-2,053	2,05	0,79	3,63	30,00	9,7	9,14
	4		4,000	1-2,257	2,26	0,79	3,84	36,27	10,4	11,1
10			5,261	1-2,588	2,59	0,79	4,17	47,70	11,5	14,5
	6		6,000	1-2,764	2,76	1,19	5,14	54,40	14,5	16,6
8			8,366	7-1,234	3,70	1,19	6,08	75,85	28,0	23,1
	10		10,00	7-1,349	4,05	1,59	7,23	90,67	34,8	27,6
6			13,30	7-1,555	4,67	1,59	7,85	120,6	47,0	36,8
	16		16,00	7-1,706	5,12	1,59	8,30	145,1	51,1	44,2
4			21,15	7-1,961	5,88	1,59	9,06	191,8	58,0	58,5
	25		25,00	7-2,132	6,40	1,59	9,58	226,7	63,0	69,1
2			33,63	7-2,473	7,42	1,59	10,60	304,9	73,0	93,0
	35		35,00	7-2,523	7,57	1,59	10,75	317,4	75,5	96,7
	50		50,00	19-1,830	9,15	1,98	13,11	453,4	102,6	138,2
1/0			53,48	19-1,893	9,47	1,98	13,43	484,9	108	147,8
2/0			67,43	19-2,126	10,63	1,98	14,59	611,4	121	185,4
	70		70,00	19-2,166	10,83	1,98	14,79	634,7	123,1	193,5
3/0			85,03	19-2,387	11,94	1,98	15,90	771,0	135	235,0
	95		95,00	19-2,523	12,62	1,98	16,58	861,4	142,9	262,5
4/0			107,22	19-2,680	13,40	1,98	17,36	972,2	152	295,3
	120		120,00	37-2,032	14,22	2,38	18,98	1088	179,1	331,6
	250		126,68	37-2,088	14,62	2,38	19,38	1148	192	350
	150		150,00	37-2,272	15,90	2,38	20,66	1360	209	414
	300		152,01	37-2,287	16,01	2,38	20,77	1378	210	420
	185		185,00	37-2,523	17,66	2,38	22,42	1677	232	511
	400		202,68	37-2,641	18,49	2,38	23,25	1838	243	560
	240		240,00	37-2,874	20,11	2,38	24,87	2176	264	663
	500		253,35	37-2,952	20,66	2,38	25,42	2297	271	700
	300		300,00	61-2,502	22,52	2,78	28,08	2720	356	829
	700		254,70	61-2,721	24,49	2,78	30,05	3216	363	980
	400		400,00	61-2,890	26,01	2,78	31,57	3627	387	1106
	800		405,37	61-2,909	26,18	2,78	31,74	3675	390	1120
	500		500,00	61-3,231	29,07	2,78	34,63	4533	434	1321
	1.000		506,71	61-3,252	29,27	2,78	34,83	4594	437	1480

## B - ISOLAÇÃO:

### 1 - Introdução:

Os condutores podem ter várias camadas de isolante, algumas com a finalidade de isolação que asseguram proteção contra choques elétricos, enquanto outras camadas asseguram proteção físico-química às solicitações do ambiente de sua instalação.

Um condutor de baixa-tensão poderá ter eventualmente uma única camada de isolamento básico para determinadas aplicações, oferecendo as duas proteções acima descritas.

Os condutores são fabricados com a isolação para determinada classe de tensão, a qual deve ser a sua máxima tensão de serviço.

As classes de tensão mais utilizadas são:

Baixa tensão: (0,25); 0,6 e 1 KV.

Média tensão: (2); 5; 8; 15; 25 e 35 KV.

Alta tensão: 69; 88 e 138 KV.

Extra alta tensão: 230 e 345 KV.

O tipo de condutor é ainda muito importante no que se refere a sua máxima temperatura de regime, sobre carga e curto-circuito.

Os isolamentos podem ser divididos em 3 grupos como veremos a seguir.

## 2 - Isolantes Termoplásticos:

São sólidos aparentes e comportam-se como fluídos de alta viscosidade a altas temperaturas, sendo que com o aumento da temperatura chegam a líquidos. Por essa razão, não se deve ultrapassar a temperatura da ordem de 150°C, caso contrário haverá movimentação do material condutor no seio do material isolante.

Por razões de segurança e durabilidade, só se pode chegar perto desse limite em condições instantâneas de curto-circuito.

Os termoplásticos são bastante empregados em função de seu baixo custo e de suas características.

## 3 - Aplicação dos Termoplásticos:

### a) Cloreto de Polivinila (PVC):

É um polímero composto de vários ingredientes que lhe conferem bom comportamento com a chama e agentes químicos e regular à resistência mecânica, agentes atmosféricos, estanqueidade e flexibilidade.

O PVC é usado em baixa e média tensão, à temperatura de trabalho na faixa de -10 a 80°C, havendo especiais para 90 e 105°C.

O PVC é também utilizado como capa de proteção de cabos de baixa, média e alta tensão.

### b) Polietileno (PET):

É um hidrocarboneto macromolecular com estrutura parafínica, com excelente resistência a descargas elétricas, perdas, estanqueidade, flexibilidade, porém tem baixa resistência mecânica, sendo facilmente atacado pelos clorados, e não muito resistente a temperatura e ionização.

O polietileno é usado em condutores de baixa tensão onde a temperatura de trabalho não supere 75°C, havendo especiais até 90°C.

#### c) Outros:

Outros termoplásticos são menos utilizados como o polisobutileno e o polisterol.

### 4 - Termofixos:

Também chamados de elastômeros ou borrachas, são sólidos sem mudança de estado e mesmo a altas temperaturas se carbonizam, portanto com vantagens sobre os termoplásticos no caso de curto-circuito onde a temperatura limite é de 250°C.

Por razões de segurança e durabilidade, considera-se as temperaturas normais de trabalho dos termofixos, dependendo de seu tipo na faixa de 80 a 110°C.

Os termofixos são obtidos pelo processo de vulcanização, o que eleva seu custo em relação aos termoplásticos.

Outro fator de elevação do custo dos termofixos quando o material condutor é o cobre, é que este deve ser estanhado para evitar a corrosão.

### 5 - Aplicação dos Termofixos:

#### a) Etileno Propileno(EPR):

É o melhor isolante entre os sólidos, com excelentes características à temperatura admissível, ionização, flexibilidade e rigidez dielétrica, sendo usado em cabos de baixa, média e alta tensão, chegando a extra alta tensão.

#### b) Polietileno Reticulado (XLPE):

É um termofixo obtido através do termoplástico PET, com a adição de peróxidos orgânicos, reticulando sua estrutura e conferindo excelente resistência a agentes químicos, boa resistência mecânica, aos agentes atmosféricos, à estanqueidade, regular flexibilidade, baixa resistência a ionização e medíocre comportamento com a chama, sendo usado em cabos de baixa e média tensão e como capa de proteção de cabos.

#### c) Borracha Butílica:

Vem sendo mais utilizada em capas de proteção pela sua excelente flexibilidade, resistência a agentes atmosféricos e químicos, boa resistência mecânica e a chama, apesar de regular a medíocre em estanqueidade.

O polietileno é usado em condutores de baixa tensão onde a temperatura de trabalho não supere 75°C, havendo especiais até 90°C.

#### c) Outros:

Outros termoplásticos são menos utilizados como o polisobutileno e o polisterol.

#### 4 - Termofixos:

Também chamados de elastômeros ou borrachas, são sólidos sem mudança de estado e mesmo a altas temperaturas se carbonizam, portanto com vantagens sobre os termoplásticos no caso de curto-circuito onde a temperatura limite é de 250°C.

Por razões de segurança e durabilidade, considera-se as temperaturas normais de trabalho dos termofixos, dependendo de seu tipo na faixa de 80 a 110°C.

Os termofixos são obtidos pelo processo de vulcanização, o que eleva seu custo em relação aos termoplásticos.

Outro fator de elevação do custo dos termofixos quando o material condutor é o cobre, é que este deve ser estanhado para evitar a corrosão.

#### 5 - Aplicação dos Termofixos:

##### a) Etileno Propileno(EPR):

É o melhor isolante entre os sólidos, com excelentes características à temperatura admissível, ionização, flexibilidade e rigidez dielétrica, sendo usado em cabos de baixa, média e alta tensão, chegando a extra alta tensão.

##### b) Polietileno Reticulado (XLPE):

É um termofixo obtido através do termoplástico PE, com a adição de peróxidos orgânicos, reticulando sua estrutura e conferindo excelente resistência a agentes químicos, boa resistência mecânica, aos agentes atmosféricos, à estanqueidade, regular flexibilidade, baixa resistência a ionização e medíocre comportamento com a chama, sendo usado em cabos de baixa e média tensão e como capa de proteção de cabos.

##### c) Borracha Butílica:

Vem sendo mais utilizada em capas de proteção pela sua excelente flexibilidade, resistência a agentes atmosféricos e químicos, boa resistência mecânica e a chama, apesar de regular a medíocre em estanqueidade.

#### d) Borracha Neoprene:

É usada normalmente como capa de proteção de cabos de baixa, média e alta tensão, possuindo boas características mecânicas e resistência à chama, óleos, ozona e luz.

#### 6 - Isolantes Estratificados:

São aqueles formados de várias camadas de materiais diferentes como: papel e óleo, papel e massa, papel e gás, amianto e borracha, etc.

Entre os isolantes estratificados, deve-se destacar o cabo de papel impregnado com óleo viscoso tipo OF (Oil Fluid), bastante utilizado no passado, em distribuição subterrânea pela sua excelente resistência a agentes atmosféricos e químicos, estanqueidade e regular comportamento com a chama, porém sua instalação é dificultada pelo seu peso, inflexibilidade, execução de emendas/ terminações.

### C - DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES:

#### 1 - Seção dos Condutores pela Condição de Resistência Mecânica (CRM):

Essa condição tem por objetivo o estudo da seção mínima dos condutores que resistam aos esforços mecânicos, dentro de suas condições ambientais, sem que haja perigo de ruptura, alongamento com conseqüente redução de sua seção a valores inaceitáveis.

Os esforços mecânicos podem ser devidos à ação de:

- a) Peso próprio,
- b) Força dos ventos,
- c) Forças aplicadas no ato da instalação devido ao peso próprio em instalações aéreas e/ou coeficiente de atrito em instalações tubuladas,
- d) Densidade de força de atração ou repulsão  $f_k(N/m)$  das correntes elétricas, principalmente as de curto-circuito  $I_k(KA)$ , onde:

$$f_k = 20 \cdot I_k^2 \cdot L/a \quad (N/m), \quad \text{onde:}$$

L: comprimento da linha.

a: distância entre condutores.

O cálculo da resistência mecânica deve ser aplicado com todo o rigor em linhas aéreas de transmissão e distribuição ou em circuitos de baixa tensão de grandes potências e elevadas correntes de curto-circuito.

Nos demais casos, principalmente nos circuitos de instalações residenciais, comerciais e industriais de pequena potência e onde a corrente de curto-circuito do local não atinge valores elevados, pode-se adotar diretamente os valores tabelados pela Norma Brasileira NBR-5410, que resiste a esses esforços mecânicos além de atender a outros fatores operacionais e de segurança.

### NBR – 5410 ( Tab. 47) Seção mínima dos Condutores :

Tipo de Instalação		Utilização do Circuito	Seção Mínima do Condutor (mm <sup>2</sup> ) / Material
Instalações Fixas Em Geral	Cabos Isolados	Circuitos de Iluminação	1,5 Cu / 16 Al
		Circuitos de Força	2,5 Cu / 16 Al
		Sinalização e Controle	0,5 Cu
	Condutores Nus	Circuitos de Força	10 Cu / 16 Al
		Sinalização e Controle	4 Cu
Ligações Flexíveis Feitas com Condutores Isolados		Para Equipto. Específico	Conforme Especificado na Norma
		Qualquer Outra Aplicação	0,75 Cu
		Circuito Extra Baixa Tensão	0,75 Cu

### NBR – 5410 (Tab. 48) Seção mínima do Condutor de Neutro:

Seção Condutores Fase (mm <sup>2</sup> )	SF ≤ 25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
Seção Mínima do Neutro (mm <sup>2</sup> )	SF	25	25	35	50	70	70	95	120	150	185

### NBR-5410 (Tab. 58) Seção Mínima do Condutor de Proteção:

Seção dos Condutores de Fase (mm <sup>2</sup> )	SF ≥ 16	16 < SF ≤ 35	SF > 35
Seção Mínima do Condutor de Proteção (mm <sup>2</sup> )	SF/1	16	SF/2

Nota: A seção de qualquer condutor de proteção que não faça parte do mesmo cabo ou do mesmo invólucro que os condutores vivos deve ser, em qualquer caso, não inferior a:

- 2,5 mm<sup>2</sup> se possuir proteção mecânica;
- 4 mm<sup>2</sup> se não possuir proteção mecânica.

## 2 - Seção dos Condutores pela Condição de Segurança Térmica (CST):

Esta condição tem por objetivo determinar a seção do condutor para uma determinada corrente de regime de condução. As perdas de energia no condutor não podem elevar a temperatura de seu isolante a valores que possam alterar suas características funcionais.

Na prática são usadas tabelas normalizadas pela NBR-5410, as quais fornecem a capacidade de condução de corrente (ampacidade) por condutor, baseando-se na fixação de algumas variáveis.

As variáveis são as seguintes:

- Temperatura ambiente,
- Material isolante,
- Material condutor,
- Seção do condutor,
- Agrupamento de condutores,
- Maneira de instalar.

Quando uma ou mais das variáveis tabeladas é modificada, a nova capacidade de condução é alterada, aplicando-se os fatores de correção também tabelados.

**Capacidade de Condução de Corrente de Cabos a Temperatura Ambiente de 30°C ou Enterrados no Solo com Resistividade Térmica de 100°C.cm/W**

Instalação de Cabos Isolados em:	Bandejas, Prateleiras, Leitões ou Canaletas bem abertas e ventiladas Suspensão: através de cabo menageiro Expostos: fixados as paredes ou aéreos sobre isoladores, abrigados ou ao tempo												Diretamente no Solo (enterrados)							
	Eletrodutos: montagem aparente, embutidos ou canalada aborça e ventilada Condutores/Poços: ou chaminés elétricas formados na estrutura do prédio Caixas: abertas ou fechadas, inclusive recadas				Cloroeto de Polivinil PVC-70°C				Etileno-Propileno (EPR-90°C) Polietileno Termofixo (XLPE-90°C)				Cloroeto de Polivinil (PVC-70°C)		Etileno-Propileno (EPR-90°C) Polietileno Termofixo (XLPE-90°C)					
	Cloroeto de Polivinil PVC-70°C		Alumínio		Cobre		Alumínio		Cobre		Alumínio		Cobre		Alumínio		Cobre			
Material Isolante	2	3	(A)	(A)	2	3	(A)	(A)	2	3	(A)	(A)	2	3	(A)	(A)	2	3	(A)	(A)
Material Condutor	2	3	(A)	(A)	2	3	(A)	(A)	2	3	(A)	(A)	2	3	(A)	(A)	2	3	(A)	(A)
Cond. Carregados	13.5	12	15.5	18	16	20	23	27	31	36	42	48	54	60	66	74	88	100	116	132
Seção (mm²)	17.5	24	21	23	20	27	31	36	42	48	54	60	66	74	88	100	116	132	144	163
1	32	41	36	42	36	48	54	60	66	74	88	100	116	132	144	163	182	200	222	252
1.5	41	57	50	54	48	66	74	88	100	116	132	144	163	182	200	222	252	288	331	392
2.5	57	76	68	74	66	88	100	116	132	144	163	182	200	222	252	288	331	392	456	536
4	76	101	89	98	86	116	132	144	163	182	200	222	252	288	331	392	456	536	617	738
6	101	125	111	121	105	144	163	182	200	222	252	288	331	392	456	536	617	738	848	1000
10	125	151	134	144	125	163	182	200	222	252	288	331	392	456	536	617	738	848	1000	1200
16	151	192	171	181	155	198	222	252	288	331	392	456	536	617	738	848	1000	1200	1440	1728
25	192	232	207	217	198	252	288	331	392	456	536	617	738	848	1000	1200	1440	1728	2070	2496
35	232	289	252	262	232	309	353	400	456	536	617	738	848	1000	1200	1440	1728	2070	2496	2976
50	289	353	310	320	289	392	456	536	617	738	848	1000	1200	1440	1728	2070	2496	2976	3552	4320
70	353	415	364	374	353	456	536	617	738	848	1000	1200	1440	1728	2070	2496	2976	3552	4320	5184
95	415	473	419	431	415	536	617	738	848	1000	1200	1440	1728	2070	2496	2976	3552	4320	5184	6144
120	473	566	502	512	473	617	738	848	1000	1200	1440	1728	2070	2496	2976	3552	4320	5184	6144	7392
150	566	651	578	588	566	738	848	1000	1200	1440	1728	2070	2496	2976	3552	4320	5184	6144	7392	8832
185	651	738	645	655	651	848	1000	1200	1440	1728	2070	2496	2976	3552	4320	5184	6144	7392	8832	10656
240	738	848	738	748	738	1000	1200	1440	1728	2070	2496	2976	3552	4320	5184	6144	7392	8832	10656	12768
300	848	1000	848	858	848	1200	1440	1728	2070	2496	2976	3552	4320	5184	6144	7392	8832	10656	12768	15360
400	1000	1200	1000	1010	1000	1440	1728	2070	2496	2976	3552	4320	5184	6144	7392	8832	10656	12768	15360	18432
500	1200	1440	1200	1210	1200	1728	2070	2496	2976	3552	4320	5184	6144	7392	8832	10656	12768	15360	18432	22080

**Condutividade**

Ta (C)	20	30	40	50	60	70
Cobre	58.00	55.81	53.77	51.88	50.12	48.47
Flo Sólido	56.59	54.66	52.74	50.82	48.90	47.05
Alumínio	35.38	34.01	32.74	31.56	30.47	29.44
Flo Sólido	34.51	33.31	32.11	30.92	29.72	28.57

TAB.40 - Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes:  
de 30° C, para linhas não subterrâneas e de 20° C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas.

Temperatura:	Isolação (°C)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
ambiente (°C)	PVC	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61	0,50	-	-	-	-
	EPR ou XLPE	1,15	1,12	1,08	1,04	1,00	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76	0,71	0,65	0,58	0,50	0,41
do solo (°C)	PVC	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55	0,45	-	-	-	-
	EPR ou XLPE	1,07	1,04	1,00	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76	0,71	0,65	0,60	0,53	0,46	0,38

TAB.42 - Fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe (em linhas abertas ou fechadas) e a condutores agrupados num mesmo plano, em camada única.

Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de referência			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	>= 20				
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em condutos fechados	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38				36 a 39 (Métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira.	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71				0,70				36 e 37 (Método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62				0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada.	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72				0,72				38 e 39 (Métodos E e F)
5	Camada única em leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78				0,78				

TAB.47 - Seção mínima dos condutores (1)

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor (mm²) - 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
	Condutores nus	Circuitos de Sinaliz. e controle	0,5 Cu (3)
		Circuitos de força	10 Cu / 16 Al
Ligações flexíveis com cabos isolados		Circuitos de Sinaliz. e controle	4 Cu
		Para um equipamento específico	C/o especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu (4)
		Circ. a extra baixa tensão p/apls. esps.	0,75 Cu

(1) Seções mínimas dadas 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 de 0,1mm².  
(4) Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção de 0,1mm².

TAB.48 - Seção reduzida do condutor neutro (1)

Seção dos condutores fase (mm²)	S <= 25	35	50	70	95	120	150	165	240	300	400
Seção reduzida do condutor neutro (mm²)	S	25	25	35	50	70	70	95	120	150	185

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

TAB.58 - Seção mínima do condutor de proteção

Seção dos condutores fase S (mm²)	S <= 16	16 < S <= 35	S > 35
Seção mínima do condutor de proteção correspondente (mm²)	S	16	S/2
6.4.3.1.4- A seção de qualquer condutor de proteção que não faça parte do mesmo cabo ou não esteja contido no mesmo conduto fechado que os condutores de fase não deve ser inferior a:			
a) 2,5 mm² em cobre/16 mm² em alumínio, se for provida proteção contra danos mecânicos			
b) 4 mm² em cobre/16 mm² em alumínio, se não for provida proteção contra danos mecânicos			
6.4.3.1.5- Um condutor de proteção pode ser comum a dois ou mais circuitos, desde que esteja instalado no mesmo conduto que os respectivos condutores de fase e sua seção seja dimensionada conforme as seguintes opções:			
a) Calculada de acordo com 6.4.3.1.2, para a mais severa corrente de falta presumida e o mais longo tempo de atuação do dispositivo de seccionamento automático verificados nesses circuitos; ou			
b) selecionada conforme a tabela 58, com base na maior seção do condutor de fase desses circuitos.			

#### 6.2.7 Quedas 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:

- 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
- 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.
<b>Notas:</b>
1 - Esses limites de queda de tensão são válidos quando a tensão nominal dos equipamentos de utilização previstos for coincidente com a tensão nominal da instalação.
2 - Ver definição de "ponto de entrega" (3.4.3).
3 - Nos casos das alíneas a), b) e d), quando as linhas principais da instalação tiverem um comprimento superior a 100m, as quedas de tensão podem ser aumentadas de 0,005% por metro de linha superior a 100m, sem que, no entanto, essa suplementação seja superior a 0,5%.
4 - Para circuitos de motores, ver também 6.5.1.2.1, 6.5.1.3.2 e 6.5.1.3.3.
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.
<b>Notas:</b>
1 - A corrente de projeto inclui as componentes de harmônicas.
2 - Para circuitos de motores, ver também 6.5.1.2.1, 6.5.1.3.2 e 6.5.1.3.3.

#### 5.3.4.1 Coordenação entre condutores e dispositivos de proteção.

Para que a proteção dos condutores contra sobrecargas fique assegurada, a característica de atuação do dispositivo destinado a protegê-la devem ser tais que:

$$a) I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$b) I_2 \leq 1,45 I_z$$

onde:

**$I_b$**   $I_b$  é a corrente de projeto do circuito;

**$I_z$**   $I_z$  é a capacidade de condução de corrente dos condutores nas condições previstas para sua instalação (ver 6.2.5);

**$I_n$**   $I_n$  é a corrente nominal do dispositivo de proteção (ou corrente de ajuste, para dispositivos ajustáveis), nas condições previstas para sua instalação;

**$I_2$**   $I_2$  é a corrente convencional de atuação p/ disjuntores, ou corrente convencional de fusão, p/ fusíveis.

**Nota:** A condição da alínea b) é aplicável quando for possível assumir que a temperatura limite de sobrecarga dos condutores (ver tabela 35) não venha a ser mantida por um tempo superior a 100h durante 12 meses consecutivos, ou por 500h ao longo da vida útil do condutor. Quando isso não ocorrer, a condição da alínea b) deve ser substituída por:

$$I_2 \leq I_z$$

$$IZ \geq \frac{IB}{Fct \cdot Fca} \quad \text{onde:}$$

IZ: ampacidade,  
IB: corrente de projeto,

Fct: fator de correção para temperatura,  
Fca: fator de correção para agrupamento de condutores, sendo

$Fca = Fcac \cdot Fcae$  onde:

Fcac: fator de correção para agrupamento de condutores,  
Fcae: fator de correção para agrupamento de eletrodutos.

**NBR-5410 (Tab. 40) Fatores de Correção para Temperaturas Ambientas Diferentes de 30°C para Linhas Não Subterrâneas e de 20°C (Temperatura do Solo) para Linhas Subterrâneas:**

Temperatura Ambiente (°C)	Isolação / (°C)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
	PVC	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61	0,50	-	-	-	-
	EPR ou XLPE	1,15	1,12	1,08	1,04	1,00	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76	0,71	0,65	0,58	0,50	0,41
Do Solo (°C)	PVC	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55	0,45	-	-	-	-
	EPR ou XLPE	1,07	1,04	1,00	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76	0,71	0,65	0,60	0,53	0,46	0,38

**Fatores de Correção para Agrupamento de Eletrodutos (Espaçamento até 2 x diâmetro externo).**

Agrupamento Homogêneo de:	Instalação em:	No e Disposição de Camadas	2	3	4	5	6	8	9	10	12	14	16	18	20
Eletrodutos	Expostos	Uma Horizontal	—	0,94	0,91	0,88	0,87	0,86							
		Uma Vertical	—	0,92	0,85	0,82	0,80	0,79						-	-
	Embutidos ou Enterrados	Uma Horizontal ou Vertical	—	0,87	0,77	0,72	0,68	0,65							

6.2.5.6 Número de condutores carregados

6.2.5.6.1 O número de condutores carregados a ser considerado é aquele indicado na tabela 46, de acordo com o esquema de condutores vivos do circuito. Em particular, no caso de circuito trifásico com neutro, quando a circulação de corrente no neutro não for acompanhada de redução correspondente na carga dos condutores de fase, o neutro deve ser computado como condutor carregado. É o que acontece quando a corrente nos condutores de fase contém componentes harmônicas de ordem três e múltiplos numa taxa superior a 15%. Nessas condições, o circuito trifásico com neutro deve ser considerado como constituído de quatro condutores carregados e a determinação da capacidade de condução de corrente dos condutores deve ser afetada do "fator de correção devido ao carregamento do neutro". Tal fator, que em caráter geral é de 0,86, independentemente do método de instalação, é aplicável então às capacidades de condução de corrente válidas para três condutores carregados.

NOTAS

1 As tabelas de capacidade de condução de corrente (tabelas 36 a 39) trazem colunas para dois e para três condutores carregados, mas nenhuma coluna válida especificamente para quatro condutores carregados. Por isso a determinação da capacidade de condução de corrente para quatro condutores carregados deve ser feita aplicando-se o fator de 0,86 às capacidades de condução de corrente válidas para três condutores carregados — sem prejuízo dos demais fatores de correção eventualmente aplicáveis, como os referentes a temperatura ambiente, resistividade térmica do solo e agrupamento de circuitos.

2 Alternativamente, o fator de correção devido ao carregamento do neutro pode ser determinado caso a caso, de acordo com o método de instalação, assumindo-se que quatro condutores carregados correspondem a dois circuitos de dois condutores carregados cada. Nessas condições, o fator de correção devido ao carregamento do neutro corresponde então ao fator de agrupamento válido para dois circuitos e para o método de instalação considerado (os fatores de agrupamento são dados nas tabelas 42 a 45, de acordo com o método de instalação), e é aplicável às capacidades de condução de corrente válidas para dois condutores carregados.

3 O fator de correção devido ao carregamento do neutro só é pertinente a circuitos trifásicos com neutro.

4 O fator de correção devido ao carregamento do neutro pode ser dispensado nos casos em que a definição da seção dos condutores embutir um sobredimensionamento dos condutores de fase, nos níveis mencionados em F.2 e F.3.

5 Sobre dimensionamento do condutor neutro, ver 6.2.6.2.

Tabela 46 — Número de condutores carregados a ser considerado, em função do tipo de circuito

Esquema de condutores vivos do circuito	Número de condutores carregados a ser adotado
Monofásico a dois condutores	2
Monofásico a três condutores	2
Duas fases sem neutro	2
Duas fases com neutro	3
Trifásico sem neutro	3
Trifásico com neutro	3 ou 4 <sup>1)</sup>
<sup>1)</sup> Ver 6.2.5.6.1.	

6.2.5.6.2 Os condutores utilizados unicamente como condutores de proteção (PE) não são considerados. Os condutores PEN são considerados como condutores neutros.

## 6.2.6.2 Condutor neutro

6.2.6.2.1 O condutor neutro não pode ser comum a mais de um circuito.

6.2.6.2.2 O condutor neutro de um circuito monofásico deve ter a mesma seção do condutor de fase.

6.2.6.2.3 Quando, num circuito trifásico com neutro, a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos for superior a 15%, a seção do condutor neutro não deve ser inferior à dos condutores de fase, podendo ser igual à dos condutores de fase se essa taxa não for superior a 33%.

### NOTAS

1 Tais níveis de correntes harmônicas são encontrados, por exemplo, em circuitos que alimentam luminárias com lâmpadas de descarga, incluindo as fluorescentes.

2 O caso de taxas superiores a 33% é tratado em 6.2.6.2.5.

6.2.6.2.4 A seção do condutor neutro de um circuito com duas fases e neutro não deve ser inferior à seção dos condutores de fase, podendo ser igual à dos condutores de fase se a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos não for superior a 33%.

NOTA O caso de taxas superiores a 33% é tratado em 6.2.6.2.5.

6.2.6.2.5 Quando, num circuito trifásico com neutro ou num circuito com duas fases e neutro, a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos for superior a 33%, pode ser necessário um condutor neutro com seção superior à dos condutores de fase.

### NOTAS

1 Tais níveis de correntes harmônicas são encontrados, por exemplo, em circuitos que alimentam principalmente computadores ou outros equipamentos de tecnologia de informação.

2 Para se determinar a seção do condutor neutro, com confiança, é necessária uma estimativa segura do conteúdo de terceira harmônica das correntes de fase e do comportamento imposto à corrente de neutro pelas condições de desequilíbrio em que o circuito pode vir a operar. O anexo F fornece subsídios para esse dimensionamento.

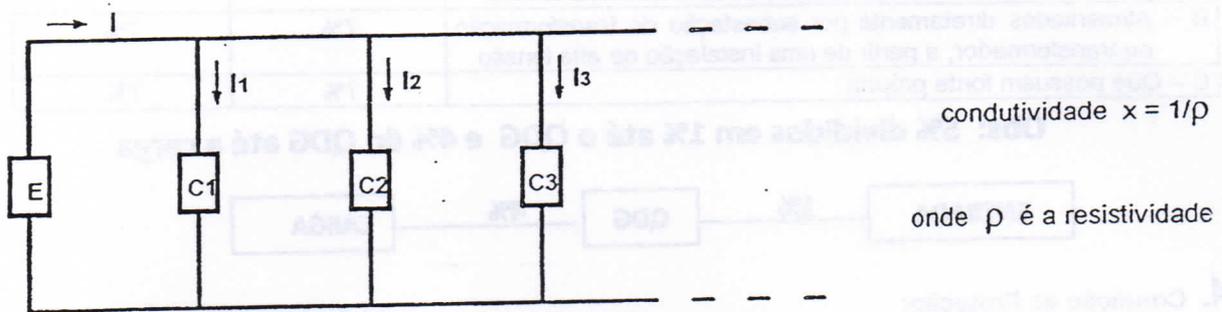
6.2.6.2.6 Num circuito trifásico com neutro e cujos condutores de fase tenham uma seção superior a  $25 \text{ mm}^2$ , a seção do condutor neutro pode ser inferior à dos condutores de fase, sem ser inferior aos valores indicados na tabela 48, em função da seção dos condutores de fase, quando as três condições seguintes forem simultaneamente atendidas:

- o circuito for presumivelmente equilibrado, em serviço normal;
- a corrente das fases não contiver uma taxa de terceira harmônica e múltiplos superior a 15%; e
- o condutor neutro for protegido contra sobrecorrentes conforme 5.3.2.2.

NOTA Os valores da tabela 48 são aplicáveis quando os condutores de fase e o condutor neutro forem do mesmo metal.

### 3 - Seção dos Condutores pela Condição de Máxima Queda de Tensão Admissível (CMQTA):

Essa condição tem por objetivo determinar a seção do condutor de um circuito de forma que sua (última) carga tenha uma certa queda de tensão máxima admissível.



a) Corrente contínua:

$$S \geq \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot I_i}{x \cdot q \cdot U} \quad \text{ou} \quad S \geq \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot P_i}{x \cdot q \cdot U^2}$$

b) Corrente alternada:

b1) A dois condutores:

$$S \geq \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot I_i \cdot \cos \varphi_i}{x \cdot q \cdot U} \quad \text{ou} \quad S \geq \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot P_i}{x \cdot q \cdot U^2}$$

b2) A três condutores (sistema trifásico):

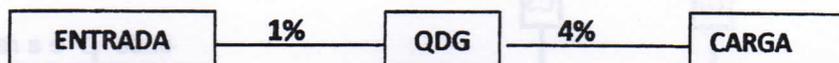
$$S \geq \frac{\sqrt{3} \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot I_i \cdot \cos \varphi_i}{x \cdot q \cdot U} \quad \text{ou} \quad S \geq \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot P_i}{x \cdot q \cdot U^2}$$

As fórmulas acima apresentadas não levam em consideração o efeito pelicular (skin) e nem tampouco a reatância, porém até  $16\text{mm}^2$  esses efeitos são desprezíveis, sendo que acima dessa bitola, no pior caso, o erro máximo é inferior a 5%.

#### NBR-5410 (Tab. 46) Limites de Queda de Tensão:

Instalações	Iluminação	Outros Usos
A – Alimentados diretamente por um ramal de baixa tensão, a partir de uma rede de distribuição pública de baixa tensão.	5%	5%
B – Alimentados diretamente por subestação de transformação ou transformador, a partir de uma instalação de alta tensão.	7%	7%
C – Que possuam fonte própria.	7%	7%

**Obs: 5% divididos em 1% até o QDG e 4% do QDG até a carga**



#### 4. Condição de Proteção:

Depende do dispositivo de proteção. Esses além de proteger a carga, também devem proteger a linha.

**VER PAG. 5 DOS ANEXOS**

#### 5. Condição econômica: Leva em consideração:

- Valor da energia perdida nos condutores,
- Valor de reparações e manutenção dos condutores (em torno de 1% de seu valor),
- Valor de amortização do custo da compra dos condutores devidamente instalados, levando-se em conta sua vida útil.

#### D- Exercícios Sobre o Dimensionamento da Seção dos Condutores:

1- Determinar a seção dos condutores do circuito terminal de uma rede, com 3 tomadas de aparelhos especiais de iluminação de uma residência, sendo a primeira com 500W, a segunda com 800W e a terceira com 1.000W, sob tensão de 110V/60Hz (F+N+PE), sabendo-se ainda que:

- Temperatura ambiente máxima: 35°C.
- Alimentador singelo (material condutor/isolante): cobre sólido/EPR90°C.
- Extensão do circuito: 4m até a 1ª tomada; 3m entre a 1ª e a 2ª tomada; 3,5m entre a 2ª e a 3ª tomada.
- Adotar queda máxima de tensão de 1,5%.
- Instalação em eletroduto de ferro embutido em alvenaria.

2- Determinar a seção dos condutores do circuito de alimentação de um quadro de distribuição de uma residência (a mesma do exercício anterior), com uma potência instalada de 30KW, tensão de abastecimento em 220/110V/60 Hz (2F+N),  $\cos \varphi = 0,95$  e  $FD = 0,55$ . Sabe-se ainda que:

- Temperatura ambiente máxima: 35°C.
- Alimentador singelo (material condutor/isolante): cobre encordado/PVC-70°C.
- Extensão do circuito: 25 metros.
- Instalação: em eletroduto de ferro embutido e singelo.

3- Determinar a seção dos condutores do circuito terminal de um aparelho de ar condicionado residencial de 2,2KW, 220V e  $\cos \varphi = 0,80$ , sabendo-se que os demais dados coincidem com o exercício 2.

4- Determinar a seção dos condutores dos circuitos de alimentação dos quadros de distribuição de 20 apartamentos, sendo um por andar, cujas cargas e demais dados, são iguais ao da residência do exercício 2, exceto no seguinte:

- Extensão dos circuitos:  $(3n+10)$  metros, onde  $n$  é número do pavimento ou apartamento.
- Instalação: a) sub-solo: 20 eletrodutos expostos e agrupados em 4 camadas horizontais e 5 verticais.  
b) após o sub-solo: parte com o mesmo agrupamento, porém com os eletrodutos embutidos (na prumada).

5- Uma fábrica recebe energia da concessionária em alta tensão, e após a entrada, medição e proteção, há um transformador trifásico de 225KVA - 220V que energiza, através do alimentador, o quadro de distribuição geral, também situado no posto de transformação. O quadro de distribuição geral alimenta por sua vez, através de sub-alimentadores, 7 quadros de sub-distribuição, com as seguintes cargas, fatores de potência e demanda e ainda a distância de suas linhas:

Q1 (Luz dos escritórios) - 30,0KVA -  $F_p=0,9$  e  $F_d=0,7$  -  $L=50m$ .

Q2 (Luz da fábrica) - 26,3KVA -  $F_p=0,9$  e  $F_d=0,8$  -  $L=50m$ .

Q3 (Prensas) - 60,0KVA -  $F_p=0,7$  e  $F_d=0,7$  -  $L=100m$ .

Q4 (Bombas de água) - 10,0KVA -  $F_p=0,7$  e  $F_d=0,5$  -  $L=60m$ .

Q5 (Tomos e fresas) - 66,7KVA -  $F_p=0,7$  e  $F_d=0,6$  -  $L=50m$ .

Q6 (Estufas) - 40,0KVA -  $F_p=1,0$  e  $F_d=1,0$  -  $L=35m$ .

Q7 (Diversos) - 35,0KVA -  $F_p=0,7$  e  $F_d=0,6$  -  $L=130m$ .

Determinar as seções dos condutores dos circuitos trifásicos sub-alimentadores, sabendo-se que:

- Temperatura ambiente máxima  $30^\circ C$ .
- Material do cabo condutor/isolante: cobre encordoado/EPR- $90^\circ C$ .
- Número de polos e cabos: 3F+T/tetrapolar.
- Instalação: todos os cabos tetrapolares partem do QGD, em uma única camada horizontal na mesma bandeja, sem espaçamento entre si.
- Os quadros Q3, Q4 e Q5 alimentam motores, cujos maiores tem a corrente nominal de 10A.

6- Determinar a seção do condutor do alimentador geral da fábrica do exercício anterior, sabendo-se que:

- Temperatura ambiente máxima:  $40^\circ C$ .
- Material do cabo condutor/isolante: alumínio encordoado/PVC- $70^\circ C$ .
- Número de polos e cabos: 3F+T/4 singelos.
- Extensão do circuito: 6m.
- Instalação: em eletrocalhas fechadas.