

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

7.^a EDIÇÃO

JOÃO MAMEDE FILHO

Engenheiro eletricista

Ex-Diretor de Planejamento e Engenharia da Companhia Energética do Ceará (1988-1990)

Ex-Diretor de Operação da Companhia Energética do Ceará — Coelce (1991-1994)

Ex-Diretor de Planejamento e Engenharia da Companhia Energética do Ceará (1995-1998)

Ex-Presidente do Comitê Coordenador de Operações do Norte-Nordeste — CCON

Ex-Presidente da Nordeste Energia S.A. — Nergisa (1999-2000)

Atual Presidente da CPE — Consultoria e Projetos Elétricos

Professor de Eletrotécnica Industrial da Universidade de Fortaleza — Unifor (desde 1979)

LTC
EDITORAS

DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES ELÉTRICOS

3.1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento de um condutor deve ser precedido de uma análise detalhada das condições de sua instalação e da carga a ser suprida.

Um condutor mal dimensionado, além de implicar a operação inadequada da carga, representa um elevado risco de incêndio para o patrimônio, principalmente quando está associado a um projeto de proteção deficiente. Os fatores básicos que envolvem o dimensionamento de um condutor são:

- tensão nominal;
- freqüência nominal;
- potência ou corrente da carga a ser suprida;
- fator de potência da carga;
- tipo de sistema: monofásico, bifásico ou trifásico;
- método de instalação dos condutores;
- natureza de carga: iluminação, motores, capacitores, retificadores etc.;
- distância da carga ao ponto de suprimento;
- corrente de curto-círcuito.

Para que um condutor esteja adequadamente dimensionado é necessário projetar os elementos de proteção a ele associados de maneira que as sobrecargas e sobrecorrentes presumidas do sistema não afetem a sua isoliação.

3.2 FIOS E CABOS CONDUTORES

A maioria absoluta das instalações industriais emprega o cobre como o elemento condutor dos fios e cabos elétricos. O uso do condutor de alumínio neste tipo de instalação é muito reduzido, apesar de o preço de mercado ser significativamente inferior aos dos correspondentes condutores de cobre. A própria norma brasileira NBR 5410/2004 restringe a aplicação dos condutores de alumínio, quando somente permite o seu uso para seções iguais ou superiores a 16 mm².

De fato, os condutores de alumínio necessitam de cuidados maiores na manipulação e instalação, devido às suas características mecânicas. No entanto, o que torna decisiva a restrição ao seu maior uso é a dificuldade de se assegurar uma boa conexão com os terminais dos aparelhos consumidores, já que a maioria destes é própria para conexão com condutores de cobre.

De maneira geral, as conexões com condutores de alumínio são consideradas o ponto vulnerável de uma instalação, à medida que requerem mão-de-obra de boa qualidade e técnicas apropriadas. Neste livro, somente serão consideradas as instalações com condutores de cobre.

Os fios e cabos são isolados com diferentes tipos de compostos isolantes, sendo os mais empregados o PVC (cloreto de polivinila), o EPR (etileno-propileno) e o XLPE (polietileno reticulado), cada um com suas características químicas, elétricas e mecânicas próprias, acarretando, assim, o seu emprego em condições específicas para cada instalação, posteriormente detalhadas.

Ademais, os condutores são chamados de *isolados* quando dotados de uma camada isolante, sem capa de proteção. Por outro lado, são denominados *unipolares* os condutores que possuem

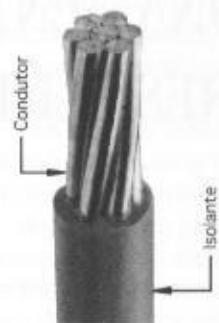


FIGURA 3.1
Cabo isolado

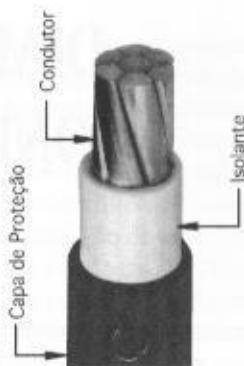


FIGURA 3.2
Cabo unipolar



FIGURA 3.3
Cabo tripolar

uma camada isolante, protegida por uma capa, normalmente constituída de material PVC. As Figuras 3.1 e 3.2 mostram respectivamente um cabo de cobre isolado em PVC e um cabo de cobre unipolar, também com isolação em PVC.

Para efeito da norma NBR 5410/2004, os condutores com isolação de XLPE que atendam à NBR 7285, compreendendo condutores isolados e cabos multiplexados, são considerados cabos unipolares e cabos multipolares, respectivamente.

Os cabos unipolares e multipolares devem atender às seguintes normas:

- cabos com isolação em PVC: NBR 7288 ou NBR 8661;
- cabos com isolação em EPR: NBR 7286;
- cabos com isolação de XLPE: NBR 7287.

Os cabos não-propagadores de chama, livres de halogênio e com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos podem ser condutores isolados, cabos unipolares e cabos multipolares.

Quando um cabo é constituído por vários condutores isolados e o conjunto é protegido por uma capa externa, é denominado multipolar, como mostrado na Figura 3.3 (cabo tripolar). Os fios e cabos são conhecidos e comercializados normalmente através da marca de seus respectivos fabricantes. Certos condutores, devido à sua qualidade e ao forte esquema de *marketing*, já tornaram suas marcas extremamente populares, como é o caso dos fios e cabos *pirastic* (condutor isolado em PVC) e, também, do *sintenax* (condutor unipolar com isolação em PVC), ambos de fabricação Pirelli.

Os cabos de média e alta tensão têm uma constituição bem mais complexa do que os de baixa tensão, devido principalmente aos elevados gradientes de tensão de campo elétrico a que são submetidos. No Capítulo 9 será tratado adequadamente este assunto.

A isolação dos condutores *isolados* é designada pelo valor nominal da tensão entre fases que suportam, padronizada pela NBR 6148 em 750 V. Já a isolação dos condutores *unipolares* é designada pelos valores nominais das tensões que suportam respectivamente entre fase e terra e entre fases, padronizados pela NBR 6251 em 0,6/1 kV para fios e cabos de baixa tensão e em 3,6/6 kV – 6/10 – 8,7/15 e 12/20 kV para cabos de média tensão.

3.3 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Dependendo da grandeza da carga da instalação e do seu tipo, podem ser utilizados vários sistemas de distribuição, a saber:

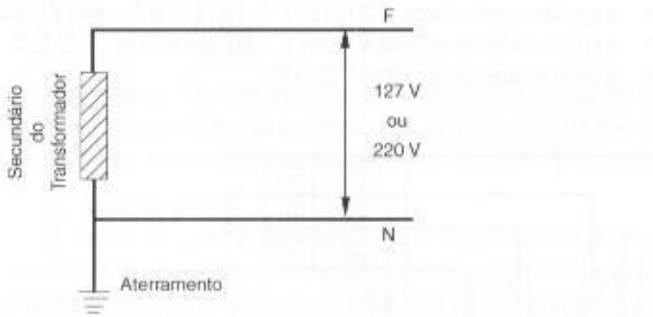
3.3.1 Sistema de Condutores Vivos

Considerando-se somente os sistemas de corrente alternada, tem-se:

3.3.1.1 Sistema monofásico a dois condutores (F – N)

É o sistema comumente utilizado em instalações residenciais isoladas e em prédios comerciais e residenciais com um número reduzido de unidades de consumo e de pequena carga. Sua configuração é apresentada na Figura 3.4.

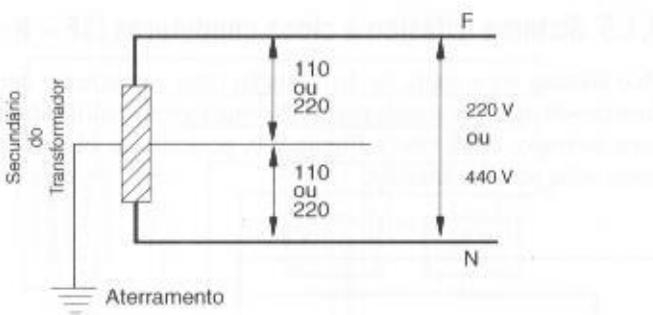
FIGURA 3.4
Sistema monofásico



3.3.1.2 Sistema monofásico a três condutores

É empregado em pequenas instalações residenciais e comerciais onde há carga de iluminação e motores. Seu uso é limitado. Na Figura 3.5 está apresentada sua configuração.

FIGURA 3.5
Sistema monofásico a três condutores



3.3.1.3 Sistema trifásico a três condutores (3F)

É o sistema secundário que pode estar conectado em triângulo ou estrela com o ponto neutro isolado. Seu uso se faz sentir principalmente em instalações industriais onde os motores representam a carga preponderante do sistema. As Figuras 3.6 e 3.7 mostram as duas configurações utilizadas: triângulo e estrela.

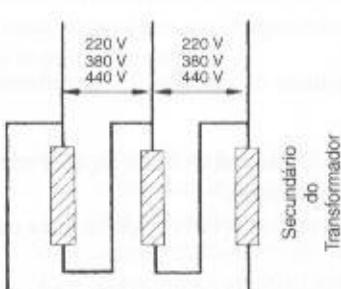


FIGURA 3.6
Sistema trifásico a 3 condutores
em Δ

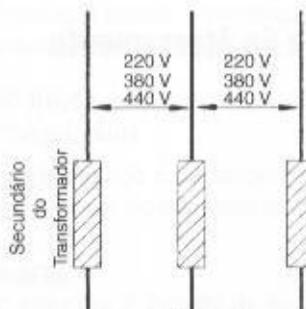


FIGURA 3.7
Sistema trifásico a 3
condutores em Y

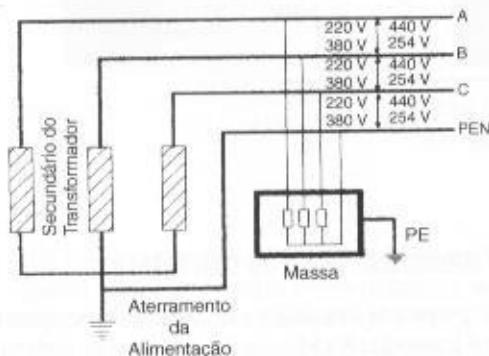
3.3.1.4 Sistema trifásico a quatro condutores (3F – N)

É o sistema secundário de distribuição mais comumente empregado nas instalações elétricas comerciais e industriais de pequeno porte. Normalmente, é utilizada a configuração estrela com o ponto neutro aterrado, conforme a Figura 3.8, podendo-se obter, na prática, as seguintes variedades de circuitos:

- a quatro condutores: 220Y/127V; 380Y/220V; 440Y/254V; 208Y/120V;
- a três condutores: 440 V, 380 V, 220 V;
- a dois condutores: 127 V, 220 V.

FIGURA 3.8

Sistema trifásico a 4 condutores em Y

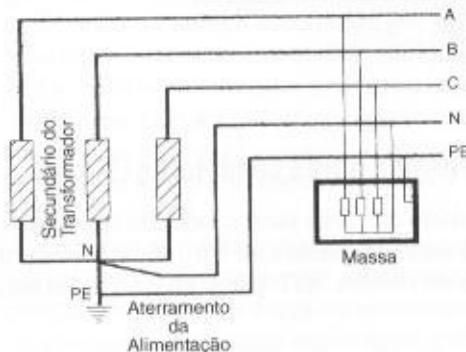


3.3.1.5 Sistema trifásico a cinco condutores (3F – N – T)

É o sistema secundário de distribuição mais comumente empregado nas instalações elétricas industriais de médio e grande portes. Normalmente, é utilizada a configuração estrela com o ponto neutro aterrado, conforme a Figura 3.9, podendo-se obter as mesmas variedades de circuitos apresentadas no item anterior.

FIGURA 3.9

Sistema trifásico a cinco condutores



3.3.2 Sistema de Aterramento

A NBR-5410/2004, para classificar os sistemas de aterramento das instalações, utiliza a seguinte simbologia:

- a) Primeira letra: situação da alimentação em relação à terra:
 - T – um ponto diretamente aterrado;
 - I – isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterrimento de um ponto através de uma impedância.
- b) Segunda letra: situação das massas em relação à terra:
 - T – massas diretamente aterradas, independentemente do aterrimento eventual de um ponto de alimentação;
 - N – massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado, sendo que em corrente alternada o ponto de aterramento normalmente é o ponto neutro.

- c) Outras letras (eventuais): disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:
- S – funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;
 - C – funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

As instalações, segundo a mesma norma, devem ser executadas de acordo com um dos seguintes sistemas:

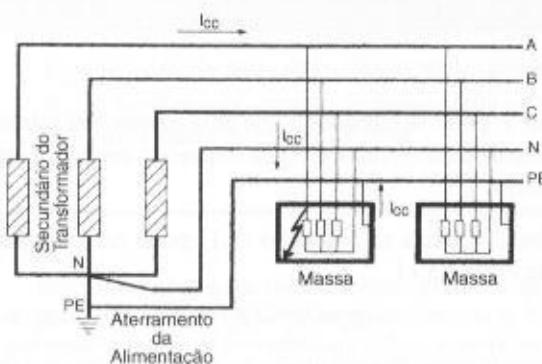
3.3.2.1 Sistema TN

Os sistemas TN têm um ponto diretamente aterrado, no qual as massas são ligadas a este ponto através de condutores de proteção. De acordo com a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção, consideram-se três tipos de sistemas TN, a saber: TN-S, TN-C e TN-C-S.

a) Sistema TN-S

É aquele no qual o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos. São comumente conhecidos como sistema a cinco condutores. Neste caso, o condutor de proteção conectado à malha de terra na origem do sistema, que é o secundário do transformador da subestação, interliga todas as massas da instalação compostas principalmente pela carcaça dos motores, transformadores, quadros metálicos, suporte de isoladores etc. O condutor de proteção é responsável pela condução das correntes de defeito entre fase e massa e está representado esquematicamente pela Figura 3.9. As massas solidárias ao condutor de proteção PE (*protection earth*) podem sofrer sobretensões, devido à elevação de potencial do ponto neutro do sistema quando este condutor é percorrido por uma corrente de defeito, conforme se observa na Figura 3.10.

FIGURA 3.10
Sistema TN-S



Todas as massas de uma instalação devem ser ligadas ao condutor de proteção.

Todas as massas de um sistema TN-S devem ser equalizadas por um condutor de proteção, que deve ser interligado ao ponto da alimentação aterrado. O condutor de proteção pode ser aterrado em tantos pontos quanto possível.

Os dispositivos de proteção e as seções dos condutores, segundo a NBR 5410/2004, devem ser escolhidos de forma que, ocorrendo em qualquer ponto uma falta de impedância desprezível entre um condutor de fase e o condutor de proteção ou uma massa, o seccionamento ocorra automaticamente em um tempo máximo igual ao especificado. Isto pode ser atendido se for cumprida a seguinte condição:

$$Z_r \times I_{ar} \leq V_{fn} \quad (3.1)$$

Z_r – impedância do percurso da corrente de defeito, isto é, as impedâncias da fonte, do condutor de fase, até o ponto onde ocorreu a falta, e do condutor de proteção em toda a sua extensão;

V_{fn} – tensão nominal entre fase e terra ou fase e neutro;

I_{ar} – corrente de defeito entre fase e terra que assegura o disparo da proteção, num tempo máximo igual aos valores estabelecidos na Tabela 3.1 ou a 5 s em condições previstas pela NBR 5410/2004 em 5.1.2.2.4.1.

- *Situação 1:* pode-se considerar que uma pessoa está sujeita à passagem de uma corrente elétrica conduzida de uma mão para outra ou de uma mão para

um pé, com pele úmida, podendo estar nesse instante em locais não-condutores, ou estar em locais não-condutores mas contendo pequenos elementos condutores, cuja probabilidade de contato seja desprezada, ou ainda estar em superfícies condutoras ou em contato com elementos condutores. Para tensões entre fase e neutro os tempos máximos de contato estão relacionados na Tabela 3.1.

- *Situação 2:* pode-se considerar que uma pessoa está sujeita à situação 2 quando sujeita à passagem de uma corrente elétrica conduzida entre duas mãos e os dois pés, estando com os pés molhados, de forma a se poder desprezar a resistência de contato e, ao mesmo tempo, em contato com elementos condutores ou sobre superfícies condutoras ou, ainda, em contato permanente com paredes metálicas com possibilidades limitadas de interromper os contatos. Para tensões entre fase e neutro, os tempos máximos de contato constam da Tabela 3.1.

TABELA 3.1

Tempos de seccionamento máximo do sistema TN

Tensão Nominal (V)	Tempo de Seccionamento (s)	
	Situação 1	Situação 2
115, 120, 127	0,80	0,35
220	0,40	0,20
254	0,40	0,20
277	0,40	0,20
400	0,20	0,50

- *Situação 3:* pode-se considerar que uma pessoa está sujeita à situação 3 quando sujeita à passagem de uma corrente elétrica, estando a pessoa imersa em água, tais como em piscinas e banheiras.

A impedância Z , vista na Equação (3.1) pode ser determinada a partir da Equação (3.2), identificada na Figura 3.11.

$$Z_t = R_t + R_c + R_p + j(X_t + X_c + X_p) \quad (3.2)$$

R_t – resistência vista do secundário do transformador da subestação, em Ω ;

X_t – reatância vista do secundário do transformador da subestação, em Ω ;

R_c – reatância dos condutores de fase que se estendem desde o secundário do transformador até o ponto de falha, em Ω ;

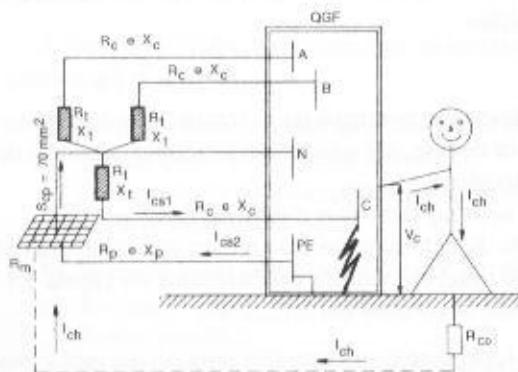
X_c – reatância dos condutores de fase que se estendem desde o secundário do transformador até o ponto de falha, em Ω ;

R_p – resistência do condutor de proteção, em Ω ;

X_p – reatância do condutor de proteção, em Ω .

FIGURA 3.11

Corrente de defeito num sistema TN



Para que a pessoa esteja protegida contra contatos indiretos estando em uma das *situações* anteriormente definidas não pode ser submetida aos valores superiores da *tensão de contato limite* V_c , dados na Tabela 3.2.

TABELA 3.2
Tensão de contato limite (V)

Natureza da Corrente	Situação 1	Situação 2	Situação 3
Alternada: 15 a 100 Hz	50	25	12
Contínua sem ondulação	120	60	30

A tensão de contato V_c a que poderia ficar submetida uma pessoa que estaria tocando uma carcaça energizada acidentalmente pode ser dada pela Equação (3.3).

$$V_c = \frac{V_{\text{fz}} \times Z_p}{Z_s} \quad (\text{V}) \quad (3.3)$$

Sendo que: $Z_p = R_p + jX_p$.

A corrente de choque a que poderá ficar submetida a pessoa nas condições anteriores pode ser dada pela Equação (3.4).

$$I_{ch} = \frac{V_c}{R_{ch} + R_{co} + R_m} \quad (\text{A}) \quad (3.4)$$

R_{ch} – resistência do corpo humano, normalmente igual a 1.000 Ω ;

R_{co} – resistência de contato da pessoa com o solo, em Ω ;

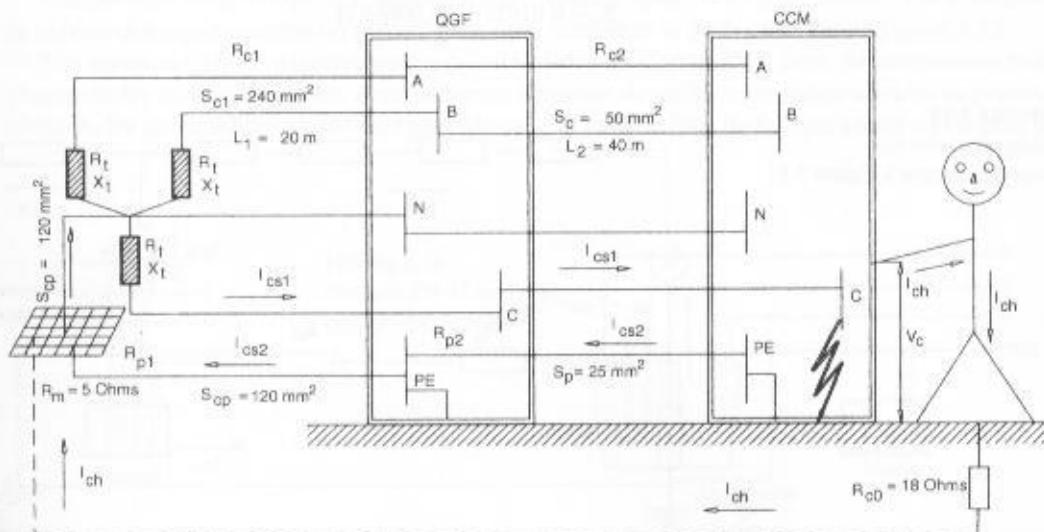
R_m – resistência da malha de terra.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.1)

Determinar a tensão de contato limite e a corrente de choque a que pode ficar submetida uma pessoa que, acidentalmente, toque o CCM (Centro de Controle de Motores), conforme mostrado na Figura 3.12. Sabe-se que nesse instante está ocorrendo um defeito monopolar. A potência nominal do transformador da subestação é de 750 kVA – 13.800/380 V e a perda no cobre é de 8.500 W. Os valores das resistências e reatâncias dos condutores podem ser obtidos na Tabela 3.22. A pessoa referida está na condição da *situação 1*.

O diagrama elétrico da Figura 3.13 corresponde à representação dos componentes de resistência e reatância definidos na Figura 3.12.

FIGURA 3.12
Percurso da corrente de defeito



- Perda no cobre por fase do transformador

$$P_{cu} = \frac{8.500}{3} = 2.833,3\text{W}$$

- Corrente nominal primária do transformador

$$I_i = \frac{750}{\sqrt{3} \times 13,80} = 31,3\text{ A}$$

- Resistência equivalente do transformador referida ao seu primário, em Ω

$$R_{eq} = \frac{P_{cu}}{I_i^2} = \frac{2.833,3}{31,3^2} = 2,89\text{ }\Omega$$

- Tensão de curto-círcuito

$Z_p = 5,5\% = 0,055\text{ pu}$ (impedância nominal do transformador – valor de placa)

$$V_{cc} = 0,055 \times \frac{13.800}{\sqrt{3}} = 438,2\text{ V}$$

- Impedância equivalente do transformador referida ao seu primário, em Ω

$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_i} = \frac{438,2}{31,3} = 14,0\text{ }\Omega$$

- Reatância equivalente do transformador referida ao seu primário, em Ω

$$X_{eq} = \sqrt{14,0^2 - 2,89^2} = 13,69\text{ }\Omega$$

- Resistência e reatância vistas do secundário do transformador

$$R_t = \left(\frac{380}{13.800} \right)^2 \times 2,89 = 0,00219\text{ }\Omega$$

$$X_t = \left(\frac{380}{13.800} \right)^2 \times 13,69 = 0,01038\text{ }\Omega$$

- Impedância vista do enrolamento secundário do transformador

$$\tilde{Z}_t = R_t + jX_t = 0,00219 + j0,01038\text{ }\Omega$$

- Impedância dos condutores de fase (veja Figura 3.12)

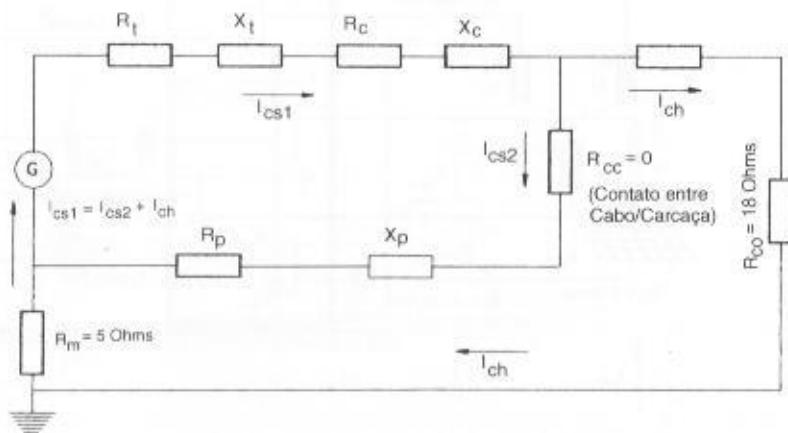
$$R_c = R_{c1} + R_{c2} = \frac{0,0958 \times 20}{1.000} + \frac{0,4450 \times 40}{1.000} = 0,01971\text{ }\Omega$$

$$X_c = X_{c1} + X_{c2} = \frac{0,1070 \times 20}{1.000} + \frac{0,1127 \times 40}{1.000} = 0,00664\text{ }\Omega$$

$$\tilde{Z}_c = 0,01971 + j0,00664\text{ }\Omega$$

FIGURA 3.13

Diagrama elétrico correspondente à Figura 3.12



- Resistência e reatância dos condutores de proteção

$$R_p = R_{p1} + R_{p2} = \frac{0,1868 \times 20}{1.000} + \frac{0,8891 \times 40}{1.000} = 0,03930 \Omega$$

$$X_p = X_{c1} + X_{c2} = \frac{0,1076 \times 20}{1.000} + \frac{0,1164 \times 40}{1.000} = 0,00680 \Omega$$

$$\bar{Z}_p = 0,03930 + j0,00680 \Omega \quad Z_p = 0,03988 \Omega$$

- Impedância do percurso da corrente de defeito

$$\begin{aligned}\bar{Z}_s &= \bar{Z}_i + \bar{Z}_c + \bar{Z}_p \rightarrow \bar{Z}_s = 0,00219 + j0,01038 + 0,01971 + j0,00664 + 0,03930 + j0,00680 \\ Z_s &= 0,06120 + 0,02382 \Omega \rightarrow Z_s = 0,06567 \Omega\end{aligned}$$

- Tensão de contato

Da Equação (3.3), tem-se:

$$V_c = \frac{V_f \times Z_p}{Z_s} = \frac{380/\sqrt{3} \times 0,03988}{0,06567} = 133,2 \text{ V}$$

Observa-se que V_c está muito acima do valor máximo que é a tensão de contato limite $V_t = 50 \text{ V}$.

No caso em questão, o tempo de seccionamento da proteção deve ser de, no máximo, 0,40 s conforme Tabela 3.1. Se o circuito fosse protegido pelo disjuntor 3VF32 - 160 A (Figura 10.15), ajustado em 160 A e instalado no CCM para um tempo de 0,40 s, a corrente de atuação seria de $13 \times I_a$, isto é, $I_{af} = 2.080 \text{ A}$. Aplicando-se a Equação (3.1), pode-se determinar o estado de segurança da pessoa, ou seja:

$$Z_s \times I_{af} \leq V_{f0} \rightarrow 0,06567 \times 2.080 \leq 220 \rightarrow 136,5 \leq 220 \text{ V}$$

Logo, existe proteção contra choques elétricos no CCM para contatos indiretos.

- Corrente presumida de choque

$$I_{ch} = \frac{V_c}{R_{ch} + R_{co} + R_m} = \frac{133,2}{1.000 + 18 + 5} = 0,130 \text{ A} = 130 \text{ mA}$$

b) Sistema TN-C

É aquele no qual as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor ao longo de todo o sistema. É comumente conhecido como sistema a quatro condutores. Neste caso, o condutor neutro conectado à malha de terra na origem do sistema, que é secundário do transformador subestação, interliga todas as massas da instalação. Desta forma, o neutro, além de conduzir a corrente de desequilíbrio do sistema, é responsável também pela condução da corrente de defeito. O sistema TN-C é um dos mais utilizados em instalações de pequeno porte, devido principalmente à redução de custo com a supressão do quinto condutor. A Figura 3.14 mostra esquematicamente o sistema TN-C.

É importante observar que o rompimento do condutor neutro (PEN) no sistema TN-C coloca as massas dos equipamentos no potencial de fase, conforme se pode observar na Figura 3.15.

Nos sistemas TN, se existirem outras possibilidades de aterramento, além do aterramento nas proximidades do transformador, deve-se ligar o condutor de proteção ao maior número de pontos possível. De qualquer forma, deve-se garantir que, no caso de falta de fase para a massa ou para a

FIGURA 3.14
Sistema TN-C

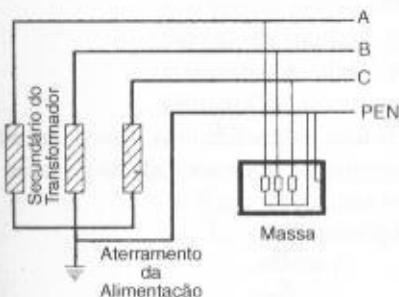
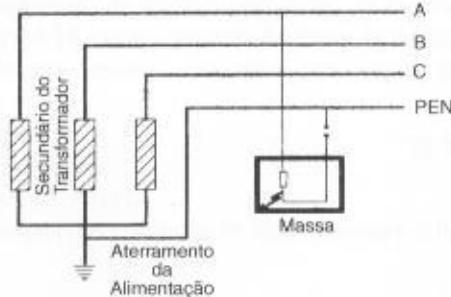


FIGURA 3.15
Sistema TN-C em curto-circuito monopolar



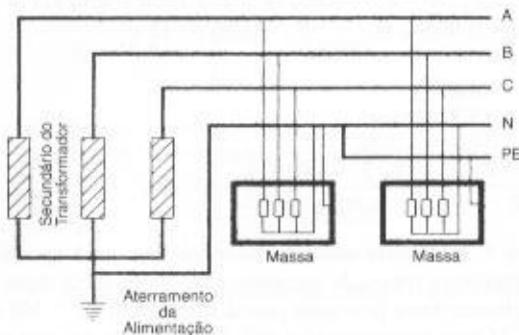
terra, o potencial resultante do condutor de proteção e das massas correspondentes permaneça o mais aproximado possível do potencial da terra.

Para a utilização do sistema TN-C, a NBR 5410 estabelece que a seção mínima do condutor em cobre é de 10 mm^2 , não permitindo ainda o uso de dispositivos DR.

c) Sistema TN-C-S

É aquele no qual as funções de neutro e de proteção são combinadas num único condutor em uma parte do sistema, conforme ilustrado na Figura 3.16.

FIGURA 3.16
Sistema TN-C-S



3.3.2.2 Sistema TT

É aquele que tem o ponto de alimentação da instalação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a eletrodos de aterramento independentes do eletrodo da alimentação. A Figura 3.17 mostra o esquema TT.

Para assegurar que, na ocorrência de uma falta entre fase e massa, o dispositivo de proteção seccione o circuito de alimentação, a tensão de contato presumida não deve ser superior à tensão de contato limite. Para isto deve-se estabelecer a seguinte condição:

$$R_{am} \times I_{dr} \leq V_l \quad (3.5)$$

R_{am} – resistência de aterramento das massas, isto é, a soma das resistências do eletrodo de aterramento e dos condutores de proteção;

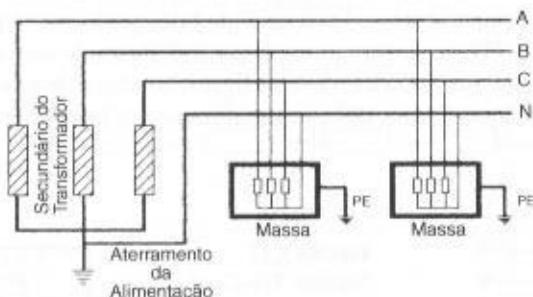
I_{dr} – corrente diferencial-residual nominal;

V_l – tensão de contato limite.

No caso de ser utilizada uma proteção diferencial-residual de 30 mA, a resistência de aterramento R_{am} terá valor máximo de:

$$R_{am} = \frac{50}{0,03} = 1.666 \Omega$$

FIGURA 3.17
Sistema TT



A tensão de contato limite a que poderia ficar submetida uma pessoa que estaria tocando uma carcaça energizada acidentalmente num sistema TT pode ser dada na Equação (3.6), ou seja:

$$V_c = \frac{V_p}{1 + \frac{R_{se}}{R_{am}}} \quad (3.6)$$

V_c – tensão de contato;

R_{ω} – resistência de terra da subestação ou do início da instalação, podendo compreender a resistência da malha de terra R_m e do resistor de aterramento R_{at} .

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.2)

Calcular a tensão de contato a que ficará submetido um indivíduo, sabendo-se que a tensão entre fases é de 380V e a resistência de aterramento no ponto de alimentação de 15 Ω. Não há resistor de aterramento inserido entre o neutro do transformador e a malha de terra. A resistência de aterramento das massas é de 3 Ω. Observar o diagrama da Figura 3.18 correspondente ao enunciado da questão.

$$V_{fe} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V}$$

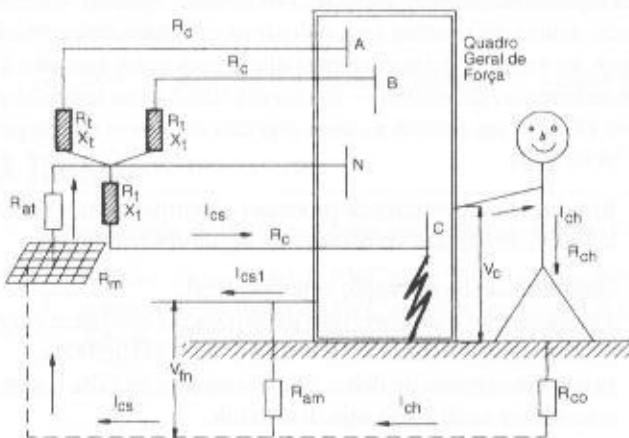
$$R_{\omega} = R_n + R_{\omega} = 15 + 0 = 15 \Omega$$

$$V_c = \frac{220}{1 + \frac{15}{3}} = 36,6 \text{ V}$$

Logo, a tensão de contato é inferior à tensão de contato limite V_n que é de 50 V.

FIGURA 3.18

Corrente de defeito num sistema IT



3.3.2.3 Sistema IT

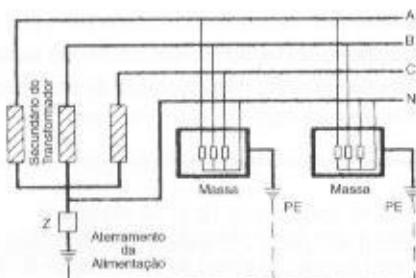
É aquele em que o ponto de alimentação não está diretamente aterrado. No esquema IT, Figura 3.19, as instalações são isoladas da terra ou aterradas por uma impedância Z de valor suficientemente elevado, sendo esta ligação feita no ponto neutro da fonte se ela estiver ligada em estrela, ou a um ponto neutro artificial. Para se obter um ponto neutro artificial, quando o sistema for ligado na configuração triângulo, é necessário utilizar um transformador de aterramento. A corrente de defeito à terra na configuração estrela, com ponto neutro aterrado com uma impedância elevada, é de pequena intensidade, não sendo obrigatório o seccionamento da alimentação. No caso da ocorrência de uma segunda falta à massa ou à terra, simultaneamente à primeira, as correntes de defeito tornam-se extremamente elevadas, pois transforma-se num curto-círcuito entre duas fases e terra. O sistema IT é caracterizado quando a corrente resultante de uma única falta fase-massa não possui intensidade suficiente para provocar o surgimento de tensões perigosas. As massas devem ser aterradas individualmente, conforme Figura 3.19, ou em grupos, devendo satisfazer a seguinte condição para que não seja imperativo o seccionamento automático por ocasião da primeira falta:

$$R_{am} \times I_{pf} \leq V_t \quad (3.7)$$

R_{am} – resistência do eletrodo de aterramento das massas, em Ω;

I_{pf} – corrente de defeito entre fase e massa do sistema na condição de uma primeira falta direta.

FIGURA 3.19
Sistema IT



A corrente I_{pf} considera tanto as correntes de fuga naturais como a impedância global de aterramento da instalação.

Deve-se prever no sistema IT um dispositivo de supervisão de isolamento (DSI) que tem por finalidade indicar a ocorrência do primeiro defeito entre fase e massa ou entre fase e terra, devendo o DSI atuar sobre um dispositivo sonoro ou visual, de forma a alertar o responsável pela operação do sistema.

É bom lembrar que, para que um sistema em estrela com o ponto neutro aterrado através de uma impedância Z seja reconhecido como sistema IT, é necessário que o valor da referida impedância seja extremamente elevado. No entanto, quando é necessário inserir uma impedância Z no ponto neutro do sistema para reduzir as correntes de curto-círcuito fase-terra — devendo permanecer, no entanto, estas correntes ainda com valor elevado, capaz de sensibilizar as proteções de sobrecorrentes de neutro — o sistema não é caracterizado como sistema IT. A utilização do sistema IT deve ser restrita a casos específicos, como os a seguir relacionados, de acordo com a NBR 5410/2004.

- Instalações industriais de processo contínuo, com tensão de alimentação igual ou superior a 380 V, desde que verificadas as seguintes condições:
 - continuidade de operação seja essencial;
 - a manutenção e a supervisão da instalação estejam a cargo de pessoa habilitada de acordo com as características BA4 e BA5 (NBR 5410/2004);
 - exista um sistema de detecção permanente de falta à terra;
 - o condutor neutro não seja distribuído.
- Instalações alimentadas por transformador de separação com tensão primária inferior a 1.000 V, desde que verificadas as seguintes condições:
 - a instalação é utilizada apenas para circuito de comando;
 - a continuidade de alimentação de comando seja essencial;
 - a manutenção e a supervisão estão a cargo de pessoa habilitada, de acordo com as características BA4 e BA5 (NBR 5410/2004);
 - exista um sistema de detecção permanente de falta à terra.
- Círculo com alimentação separada, de reduzida extensão, em instalações hospitalares, onde a continuidade de alimentação e a segurança dos pacientes sejam essenciais.
- Instalações exclusivamente para alimentação de fornos a arco.

3.4 CRITÉRIOS BÁSICOS PARA A DIVISÃO DE CIRCUITOS

Para que uma instalação elétrica tenha um desempenho satisfatório, deve ser projetada levando-se em consideração as boas técnicas de divisão e seccionamento de circuitos previstas na NBR 5410/2004. De forma geral, pode-se adotar as seguintes premissas:

- Toda instalação deve ser dividida de acordo com as necessidades, em vários circuitos, de forma a satisfazer às seguintes condições:
 - Segurança
 - evitar qualquer perigo e limitar as consequências de uma falta a uma área restrita;
 - evitar o risco de realimentação inadvertida através de outro circuito;
 - Conservação de energia

- evitar os inconvenientes que possam resultar de um circuito único, tal como um só circuito de iluminação;
 - facilitar o controle do nível de iluminamento, principalmente em instalações comerciais e industriais;
 - outras funções, ver Capítulo 15.
 - Funcionais
 - criar circuitos individuais para tomadas e iluminação;
 - criar circuitos individuais para os diferentes ambientes de uma instalação, tais como refeitório, sala de reunião, escritórios etc.
 - criar circuitos individuais para motores e outros equipamentos, conforme estudado no Capítulo 1.
 - Produção
 - criar circuitos individuais para diferentes setores de produção, conforme estudado no Capítulo 1.
 - Manutenção
 - facilitar as verificações e os ensaios.
- b) Deve-se criar circuitos específicos para certas partes da instalação, de modo que esses circuitos não sejam afetados por defeitos em outros circuitos.
- c) Deve-se criar condições nos quadros de comando e nos condutos que permitam futuras ampliações.
- d) Deve-se distribuir de forma equilibrada as cargas monofásica e bifásica entre as fases.

3.5 CIRCUITOS DE BAIXA TENSÃO

Compreende-se por condutores secundários aqueles enquadrados nas seguintes condições:

- dotados de isolação de PVC para 750 V, sem cobertura;
- dotados de isolação de PVC ou EPR para 0,6/1,0 kV, com capa de proteção em PVC;
- dotados de isolação de XLPE para 0,6/1,0 kV, com capa de proteção em PVC.

TABELA 3.3

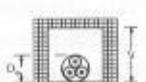
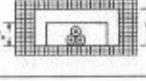
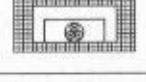
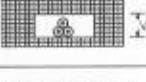
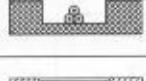
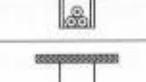
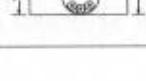
Métodos de referência

Referência	Descrição
A1	Condutores isolados em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante
A2	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante
B1	Condutores isolados em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira
B2	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira
C	Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede de madeira
D	Cabo multipolar em eletroduto enterrado no solo
E	Cabo multipolar ao ar livre
F	Cabos unipolares justapostos (na horizontal, vertical ou em trifólio) ao ar livre
G	Cabos unipolares espaçados ao ar livre

Para a determinação da seção dos condutores de um circuito em cabos isolados é necessário conhecer os Métodos de Referência de instalação dos cabos elétricos, estabelecidos na NBR 5410/2004 e mostrados na Tabela 3.3. No entanto, o conhecimento da capacidade do condutor depende dos tipos de linhas elétricas que poderão ser adotadas na sua instalação, estabelecidos na NBR 5410/2004 e identificados na Tabela 3.4.

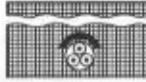
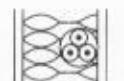
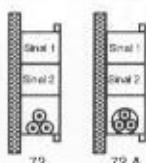
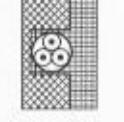
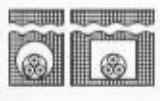
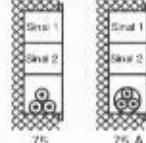
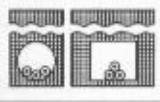
TABELA 3.4

Tipos de linhas elétricas (NBR 5410/2004)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência(1)	Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência(1)
1	 Face interna	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular [embutido em parede termicamente isolante] ⁽⁵⁾	A1	17		Cabos unipolares ou cabo multipolar suspenso(s) por cabo de suporte, incorporado ou não	E (multipolar) F (unipolares)
2	 Face interna	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ⁽²⁾	A2	18		Condutores nus ou isolados sobre isoladores	G
3	 Face interna	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaço de menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1	21		Cabos unipolares ou cabos multipolares em espaço de construção ⁽⁵⁾ , sejam eles lançados diretamente sobre a superfície do espaço de construção, sejam instalados em suportes ou condutores abertos (bandeja, prateleira, tela ou leito) dispostos no espaço de construção ^(5, 6)	1,5 D _e ≤ V < 5 D _e B2 5 D _e ≤ V < 50 D _e B1
4	 Face interna	Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaço de menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B2	22		Condutores isolados em eletroduto de seção circular em espaço de construção ^(5, 7)	1,5 D _e ≤ V < 20 D _e B2 V ≥ 20 D _e B1
5	 Face interna	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B1	23		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção circular em espaço de construção ^(5, 7)	B2
6	 Face interna	Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B2	24		Condutores isolados em eletroduto de seção não-circular ou eletrocalha em espaço de construção ⁽⁵⁾	1,5 D _e ≤ V < 20 D _e B2 V ≥ 20 D _e B1
7	 Face interna	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B1	25		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não-circular ou eletrocalha em espaço de construção ⁽⁵⁾	B2
8	 Face interna	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B2	26		Condutores isolados em eletroduto de seção não-circular embutido em alvenaria ⁽⁶⁾	1,5 ≤ V < 5 D _e B2 5 D _e ≤ V < 50 D _e B1
11	 Face interna	Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede ou espaço de menos de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C	27		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não-circular embutido em alvenaria	B2
11A	 Face interna	Cabos unipolares ou cabo multipolar fixado diretamente no teto	C	31 32		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B1
11B	 Face interna	Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado do teto mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C	31A 32A		Cabo multipolar em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B2
12	 Face interna	Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja não-perfurada, perfilado ou prateleira ⁽³⁾	C	33		Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta fechada embutida no piso	B1
13	 Face interna	Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical ⁽⁴⁾	E (multipolar) F (unipolares)	34		Cabo multipolar em canaleta fechada embutida no piso	B2
14	 Face interna	Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre suportes horizontais, eletrocalha armada ou tela	E (multipolar) F (unipolares)	35		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha ou perfilado suspensa(o)	B1
15	 Face interna	Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado(s) da parede mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	E (multipolar) F (unipolares)	36		Cabo multipolar em eletrocalha ou perfilado suspensa(o)	B2
16	 Face interna	Cabos unipolares ou cabo multipolar em leito	E (multipolar) F (unipolares)	41		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular contido em canaleta fechada com percurso horizontal ou vertical ⁽⁷⁾	1,5 D _e ≤ V < 20 D _e B2 V ≥ 20 D _e B1

(cont.)

TABELA 3.4Tipos de linhas elétricas (NBR 5410/2004) (*continuação*)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência(1)	Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência(1)
42		Condutores isolados em eletroduto de seção circular contido em canaleta ventilada embutida no piso	B1	63		Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente enterrado(s), com proteção mecânica adicional(9)	D
43		Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta ventilada embutida no piso	B1	71		Condutores isolados ou cabos unipolares em moldura	A1
51		Cabo multipolar embutido diretamente em parede termicamente isolante(2)	A1	72		72 – Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta provida de separações sobre parede	B1
52		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria semi proteção mecânica adicional	C	73		Condutores isolados em eletroduto, cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) em caixilho de porta	A1
53		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria com proteção mecânica adicional	C	74		Condutores isolados em eletroduto, cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) em caixilho de janela	A1
61		Cabo multipolar em eletroduto (de seção circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a)	D	75A		75 – Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta embutida em parede	B1
61A		Cabos unipolares em eletroduto (de seção não-circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a)(8)	D	75B		75A – Cabo multipolar em canaleta embutida em parede	B2

(1) Método de referência a ser utilizado na determinação da capacidade de condução de corrente.

(2) Assume-se que a face interna da parede apresenta uma condutância térmica não inferior a $10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

(3) Admite-se também condutores isolados em perfilado, desde que nas condições definidas na NBR 5410/2004.

(4) A capacidade de condução de corrente para bandeja perfurada foi determinada considerando-se que os furos ocupassem no mínimo 30% da área da bandeja. Se os furos ocuparem mais de 30% da área da bandeja, ela deve ser considerada como "não-perfurada".

(5) Conforme a ABNT NBR IEC 60050 (826), os poços, as galerias, os pisos técnicos, os condutos formados por blocos alveolados, os forros falsos, os pisos elevados e os espaços internos (níveis em certos tipos de divisórias (como, por exemplo, as paredes de gesso acartonado) são considerados espaços de construção.

(6) D_e é o diâmetro externo do cabo, no caso de cabo multipolar. No caso de cabos unipolares ou condutores isolados, distinguem-se duas situações:- três cabos unipolares (ou condutores isolados) dispostos em trifólio: D_e deve ser tomado igual a 2,2 vezes o diâmetro ou cabo unipolar ou condutor isolado;- três cabos unipolares (ou condutores isolados) agrupados num mesmo plano: D_e deve ser tomado igual a 3 vezes o diâmetro do cabo unipolar ou condutor isolado.(7) D_e é o diâmetro externo do eletroduto, quando de seção circular, ou altura/profundidade do eletroduto de seção não-circular ou da eletrocathá.

(8) Admite-se também o uso de condutores isolados, desde que nas condições definidas na NBR 5410/2004.

(9) Admite-se cabos diretamente enterrados sem proteção mecânica adicional, desde que esses cabos sejam providos de armação. Deve-se notar, porém, que na NBR 5410/2004 não

(10) fornecidos valores de capacidade de condução de corrente para cabos armados. Tais capacidades devem ser determinadas como indicado na ABNT NBR 11301.

(11) Em linhas ou trechos verticais, quando a ventilação for restrita, deve-se atentar para risco de aumento considerável da temperatura ambiente no topo do trecho vertical.

3.5.1 Critérios para Dimensionamento da Seção Mínima dos Condutores de Fase

A seção mínima dos condutores elétricos deve satisfazer, simultaneamente, aos três critérios seguintes:

- capacidade de condução de corrente, ou simplesmente ampacidade;
- limites de queda de tensão;
- capacidade de condução de corrente de curto-círcuito por tempo limitado.

Durante a elaboração de um projeto, os condutores são inicialmente dimensionados pelos dois primeiros critérios. Assim, quando do dimensionamento das proteções baseado nas intensidades das correntes de falta, entre outros parâmetros, é necessário confrontar os valores destas e os respectivos tempos de duração com os valores máximos admitidos pelo isolamento dos condutores utilizados, cujos gráficos estão mostrados nas Figuras 3.26 e 3.27, respectivamente para as isolações de PVC 70°C e XLPE ou EPR 90°C.

As isolações dos condutores apresentam um limite máximo de temperatura em regime de serviço contínuo. Conseqüentemente, o carregamento dos condutores é limitado a valores de corrente que são função do método de referência e que, nestas condições e em serviço contínuo, proporcionarão temperaturas não superiores àquelas estabelecidas na Tabela 3.5 para cada tipo de isolamento.

TABELA 3.5

Temperaturas características dos condutores

Tipo de Isolação	Temperatura Máxima para Serviço Contínuo do Condutor (°C)	Temperatura Limite de Sobrecarga do Condutor (°C)	Temperatura Limite de Curto-circuito do Condutor (°C)
Cloreto de polivinila (PVC)	70	100	160
Borracha etileno-propileno (EPR)	90	130	250
Polietileno reticulado (XLPE)	90	130	250

3.5.1.1 Critério da capacidade de condução de corrente

Este critério consiste em determinar o valor da corrente máxima que percorrerá o condutor e, de acordo com o método de instalação, procurar nas correspondentes Tabelas 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 a sua seção nominal. No entanto, para determinar as colunas adequadas das tabelas mencionadas, é necessário pesquisar a Tabela 3.3 que descreve os métodos de referência, ou, simplesmente, as maneiras correspondentes de instalar os condutores para os quais foi determinada a capacidade de condução de corrente por ensaio ou por cálculo.

Os valores exibidos nas tabelas de capacidade de condução de corrente são, portanto, determinados de acordo com a limitação da temperatura das isolações correspondentes, estando os condutores secundários operando em regime contínuo.

Os cabos não-propagadantes de chama, livres de halogênio e com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos podem ser considerados condutores isolados, cabos unipolares e cabos multipolares. Os condutores isolados e cabos multiplexados, com isolamento XLPE especificados na NBR 7285, são considerados cabos unipolares e cabos multipolares, respectivamente.

A Tabela 3.10, reproduzida da NBR 5410/2004, fornece a seção mínima dos condutores para diferentes tipos de aplicação e serve de orientação básica aos projetistas. Para facilitar o dimensionamento de condutores em algumas aplicações simples, pode-se utilizar a Tabela 3.11 que estabelece a seção mínima dos condutores em condições normais de operação em função da carga de vários aparelhos, considerando uma queda de tensão no circuito de 2% para um fator de potência igual a 0,90, instalados em eletroduto de PVC com dois e três condutores e de acordo com a tensão do sistema.

3.5.1.1.1 Circuitos para iluminação e tomadas

Neste caso, estão compreendidos tanto os circuitos terminais para iluminação e tomadas como os circuitos de distribuição que alimentam os Quadros de Distribuição de Luz (QDL).

Conhecida a carga a ser instalada, pode-se determinar, a partir das Tabelas 1.4 e 1.5, a demanda resultante, aplicando-se sobre a carga inicial os fatores de demanda indicados na Tabela 1.6. Com este resultado, aplicar as equações correspondentes.

TABELA 3.6

Capacidade de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D da Tabela 3.3.
 Condutores isolados, cabos unipolares e multipolares, isolação PVC; 2 e 3 condutores carregados; temperatura no condutor: 70°C; temperatura ambiente: 30°C e 20°C para instalações subterrâneas.

Seções Nominais (mm ²)	Métodos de Referência Definidos na Tabela 3.3											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1.000	767	679	698	618	1.012	906	827	738	1.125	996	792	652

Os condutores secundários devem ser identificados no momento de sua instalação. Em geral, essa identificação é feita através de cores e/ou anilhas. Para tanto, devem ser adquiridos nas cores que representam a fase, o neutro e o condutor de proteção. As cores padronizadas pela NBR 5410/2004 são:

- Condutores de fase: quaisquer cores menos as cores definidas para os condutores neutro e de proteção.
- Condutores neutro: cor azul-clara.
- Condutores de proteção (PE): cor verde-amarelada ou cor verde; estas cores são exclusivas da função de proteção.
- Condutores neutro + proteção (PEN): azul-claro com anilhas verde-amareladas nos pontos visíveis.

Deve-se ressaltar que os circuitos de tomada devem ser considerados como circuito de força.

a) Circuitos monofásicos (F-N)

Com o valor da demanda calculada, a corrente de carga é dada pela Equação (3.8):

$$I_c = \frac{D_c}{V_{fn} \times \cos \phi} \quad (3.8)$$

D_c – demanda da carga, em W;

V_{fn} – tensão fase e neutro, em V;

$\cos \phi$ – fator de potência de carga.

b) Circuitos bifásicos simétricos (F-F-N)

Deve-se considerar como sendo o resultado de dois circuitos monofásicos quando as cargas estão ligadas entre fase e neutro. Se há cargas ligadas entre fases, a corrente correspondente deve ser calculada conforme a Equação (3.8), alterando-se o valor de V_{fn} para a tensão V_{ff} . Neste tipo de circuito, podem ser ligados pequenos motores monofásicos entre fase e neutro ou entre fases.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.3)

Determinar a seção dos condutores fase do circuito bifásico mostrado na Figura 3.20, sabendo-se que serão utilizados cabos unipolares, isolação de XLPE, dispostos em eletroduto embutido em alvenaria.

$$I_{ab} = \frac{2.500}{380 \times 0,80} = 8,2 \text{ A}$$

$$I_{an} = \frac{3.000}{220 \times 0,90} = 15,1 \text{ A}$$

$$I_{bn} = \frac{800}{220 \times 0,70} + \frac{600}{220 \times 0,60} = 9,7 \text{ A}$$

$$I_a = I_{ab} + I_{an} = 8,2 + 15,1 = 23,3 \text{ A}$$

I_{ab} – corrente correspondente à carga ligada entre as fases A e B, em A;

I_{an} , I_{bn} – correntes correspondentes às cargas monofásicas, respectivamente ligadas entre fases A e B e neutro, em A;

I_a – corrente que circula na fase mais carregada (fase A), em A.

FIGURA 3.20

Sistema bifásico simétrico a três fios

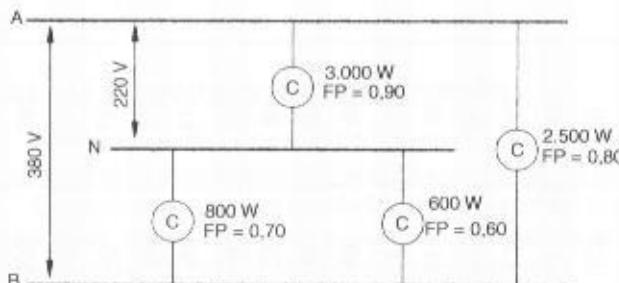


TABELA 3-7

Capacidades de condução de corrente, em ampéres, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D da Tabela 3.3.

Condutores isolados, cabos unipolares e multipolares, isolação EPR ou XLPE; 2 e 3 condutores carregados; temperatura no condutor: 90°C; temperatura ambiente: 30°C e 20°C para instalações subterrâneas.

Seções (mm ²)	Métodos de Referência Definidos na Tabela 3.3											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	18	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	180	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	161	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	626	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1.122	923	711	596
800	885	792	805	721	1.158	1.020	952	837	1.311	1.074	811	679
1.000	1.014	808	923	826	1.332	1.173	1.088	957	1.515	1.237	916	767

TABELA 3.8

Capacidade de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G da Tabela 3.3. Condutores isolados, cabos unipolares e multipolares, isolação PVC; temperatura no condutor: 70°C; temperatura ambiente: 30°C.

Seções (mm ²)	Métodos de Referência Definidos na Tabela. 3.3							
	Cabos Multipolares			Cabos Unipolares				
	2 condutores carregados		3 condutores carregados	2 condutores carregados		3 condutores carregados	3 condutores carregados: mesmo plano	
	E	E	F	F	F	Justapostos	Espaçados	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
0,5	11	9	11	8	9	12	10	
0,75	14	12	14	11	11	16	13	
1	17	14	17	13	14	19	16	
1,5	22	18,5	22	17	18	24	21	
2,5	30	25	31	24	25	34	29	
4	40	34	41	33	34	45	39	
6	51	43	53	43	45	59	51	
10	70	60	78	60	63	81	71	
16	94	80	99	82	85	110	97	
25	119	101	131	110	114	146	130	
35	148	126	162	137	143	181	162	
50	180	153	196	167	174	219	197	
70	232	196	251	216	225	281	254	
95	282	238	304	264	275	341	311	
120	328	276	352	308	321	396	362	
150	379	319	406	356	372	456	419	
185	434	364	463	409	427	521	480	
240	514	430	546	485	507	615	569	
300	593	497	629	561	587	709	659	
400	715	597	754	656	689	852	795	
500	826	689	868	749	789	982	920	
630	958	798	1.005	855	905	1.138	1.070	
800	1.118	930	1.169	971	1.119	1.325	1.251	
1.000	1.292	1.073	1.346	1.079	1.296	1.528	1.448	

Logo, o valor da seção dos condutores de fase e de neutro valem:

$S_a = S_b = S_n = 3 \# 2,5 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.6 — coluna B1 para três condutores carregados — justificada pela Tabela 3.4, método de instalação 7: condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutidos em alvenaria).

É importante frisar que a operação que determinou o valor de $I_a = 23,3 \text{ A}$ é eletricamente incorreta, pois como os fatores de potência são diferentes, era necessário, a rigor, adotar a soma vetorial. Na prática, porém, desde que não sejam muito divergentes os fatores de potência, pode-se proceder como se fez anteriormente.

TABELA 3.9

Capacidade de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G da Tabela 3.3 condutores isolados, cabos unipolares e multipolares, isolação XLPE e EPR; temperatura no condutor: 90°C; temperatura ambiente: 30°C.

Seções (mm ²)	Métodos de Referência Definidos na Tabela. 3.3						
	Cabos Multipolares		Cabos Unipolares				
	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	3 condutores carregados: mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
	E	E	F	F	F	Horizontal	Vertical
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0,5	13	12	13	10	10	15	12
0,75	17	15	17	13	14	19	16
1	21	18	21	16	17	23	19
1,5	26	23	27	21	22	30	25
2,5	36	32	37	29	30	41	35
4	49	42	50	40	42	56	48
6	63	54	65	53	55	73	63
10	86	75	90	74	77	101	88
16	115	100	121	101	105	137	120
25	149	127	161	135	141	182	161
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	892	745	940	823	868	1.085	1.008
500	1.030	859	1.083	946	998	1.253	1.169
630	1.196	995	1.254	1.088	1.151	1.454	1.362
800	1.396	1.159	1.460	1.252	1.328	1.696	1.595
1.000	1.613	1.336	1.683	1.420	1.511	1.958	1.849

c) Circuitos trifásicos

Os circuitos trifásicos podem ser caracterizados por um circuito a três condutores (3F) ou por um circuito a quatro condutores (3F + N).

Considerando-se que os aparelhos estejam ligados equilibradamente entre fases ou entre fases e neutro, pode-se determinar a corrente de carga através da Equação (3.9).

$$I_c = \frac{P_{cu}}{\sqrt{3} \times V_f \times \cos \phi} \quad (3.9)$$

V_f – tensão entre fases, em V;

P_{cu} – potência ativa demandada da carga, considerada equilibrada em W.

Normalmente, esse tipo de circuito destina-se à alimentação de cargas trifásicas individuais, de Quadros de Distribuição de Luz (QDL) e Centros de Controle de Motores (CCM). Com o valor da corrente calculada conforme Equação (3.9) e considerando-se as condições de instalação dos condutores, a sua seção é determinada através das Tabelas 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9.

TABELA 3.10

Seção mínima dos condutores

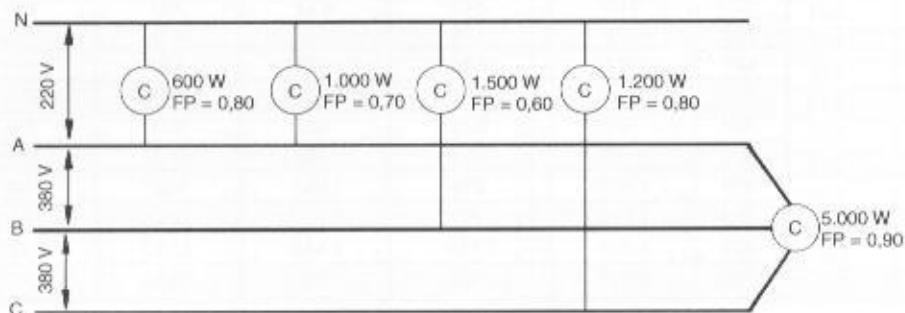
Tipo de Instalação		Utilização do Circuito	Seção Mínima do Condutor - Material (mm ²)
Instalações fixas em geral	Cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 - Cu 16 - Al
		Circuitos de força	2,5 - Cu 16 - Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de comando	0,5 - Cu
	Condutores nus	Circuitos de força	10 - Cu 16 - Al
		Circuitos de sinalização e controle	4 - Cu
			Como especificado na norma do equipamento
Ligações flexíveis feitas com cabos isolados		Para qualquer outra aplicação	0,75 - Cu
		Circuitos a extrabaixa tensão para aplicações especiais	0,75 - Cu

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.4)

Determinar a seção dos condutores fase do circuito trifásico mostrado na Figura 3.21, sabendo-se que serão utilizados cabos isolados em PVC, dispostos em eletroduto aparente.

FIGURA 3.21

Círcuito trifásico a quatro fios desequilibrado



$$I_{an} = \frac{600}{220 \times 0,80} + \frac{1.000}{220 \times 0,70} = 9,9 \text{ A}$$

$$I_{bn} = \frac{1.500}{220 \times 0,60} = 11,3 \text{ A}$$

$$I_{cn} = \frac{1.200}{220 \times 0,80} = 6,8 \text{ A}$$

$$I_{abc} = \frac{5.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 8,4 \text{ A}$$

I_{an}, I_{bn}, I_{cn} – correntes correspondentes às cargas monofásicas, respectivamente ligadas entre as fases A e B e C e o neutro N, em A.

Considerando-se a corrente da fase de maior carga, tem-se:

$$I_b = I_{ba} + I_{abc} = 11,3 + 8,4 = 19,7 \text{ A}$$

I_b – corrente de carga da fase B e que deve corresponder à capacidade mínima de corrente do condutor.

Logo, $S_a = S_b = S_c = 3 \# 2,5 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.6 – coluna B1 para três condutores carregados – justificada pela Tabela 3.4, método de instalação 3: condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente e de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto).

3.5.1.1.2 Circuitos terminais para ligação de motores

Em geral, são caracterizados por circuitos trifásicos a três condutores (3F), originados de um circuito trifásico a quatro condutores. Este é o tipo mais comum de circuito para ligação de motores trifásicos.

Conhecidas as correntes de carga dos motores e sabido o método de referência de instalação dos cabos, segundo a forma mais conveniente para o local de trabalho, devem-se aplicar as instruções seguintes para determinar a seção transversal dos condutores:

a) Instalação de um motor

A capacidade mínima de corrente do condutor deve ser igual ao valor da corrente nominal multiplicado pelo fator de serviço correspondente, se houver:

$$I_c = F_s \times I_{nm} \quad (\text{A}) \quad (3.10)$$

I_c – corrente mínima que o condutor deve suportar, em A;

I_{nm} – corrente nominal do motor, segundo a Tabela 6.3 do Capítulo 6, em A;

F_s – fator de serviço do motor: quando não se especificar o fator de serviço do motor, pode-se considerá-lo igual a 1.

b) Instalação de um agrupamento de motores

A capacidade mínima de corrente do condutor deve ser igual à soma das correntes de carga de todos os motores, considerando-se os respectivos fatores de serviço.

$$I_c = F_{s(1)} \times I_{nm(1)} + F_{s(2)} \times I_{nm(2)} + \dots + F_{s(n)} \times I_{nm(n)} \quad (\text{A}) \quad (3.11)$$

$I_{nm(1)}, I_{nm(2)}, I_{nm(3)}, \dots, I_{nm(n)}$ – correntes nominais dos motores, em A;

$F_{s(1)}, F_{s(2)}, F_{s(3)}, \dots, F_{s(n)}$ – fatores de serviço correspondentes.

Quando os motores possuírem fatores de potência muito diferentes, o valor de I_c deverá ser calculado levando-se em consideração a soma vetorial dos componentes ativo e reativo desses motores. Com base no valor da corrente calculada, pode-se obter junto às tabelas anteriormente mencionadas o valor da seção dos condutores.

TABELA 3.11

Seção dos condutores em função da corrente e da queda de tensão

Potência (W)	Corrente (A)	Sistema Monofásico																						
		Tensão do Sistema						Comprimento do Circuito (em Metros)																
		127 V			220 V			15			30			45			60			80			100	
1.000	8,7	5,0	2,5	4	6	10	10	16	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
1.500	13,1	7,5	2,5	6	10	16	16	25	1,5	2,5	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
2.000	17,5	10,1	4	10	10	16	25	25	1,5	2,5	4	4	4	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
2.500	21,8	12,6	6	10	16	25	25	35	1,5	4	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
3.000	26,2	15,1	6	10	16	25	35	50	1,5	4	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	16	
3.500	30,6	17,6	6	16	25	35	35	50	2,5	4	10	10	10	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
4.000	34,9	20,2	10	16	25	35	50	50	2,5	6	10	10	10	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
4.500	39,3	22,7	10	16	25	35	50	70	4	6	10	16	16	16	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
5.000	43,7	25,2	10	25	25	50	50	70	4	6	10	16	16	16	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
6.000	52,5	30,3	10	25	50	50	70	95	6	10	16	16	16	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
7.000	61,2	35,3	16	25	35	70	70	95	6	10	16	25	25	25	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
8.000	69,9	40,4	25	35	50	70	95	120	10	10	16	25	25	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
9.000	78,7	45,5	25	35	50	70	95	120	10	10	16	25	25	35	35	35	35	35	35	35	35	35	50	
10.000	87,4	50,5	25	35	70	95	120	150	10	16	25	25	25	35	35	35	35	35	35	35	35	35	50	
Sistema Trifásico														380 V										
W	Corrente		220 V						380 V						380 V									
	220 V	380 V	15	30	45	60	80	100	15	30	45	60	80	100	15	30	45	60	80	100				
2.000	5,8	3,3	1,5	1,5	2,5	2,5	4	4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3.000	8,7	5,0	1,5	2,5	4	4	6	6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4.000	11,6	6,7	1,5	2,5	4	6	10	10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5.000	14,5	8,4	1,5	4	6	6	10	10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6.000	17,5	10,1	2,5	4	6	10	10	16	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7.000	20,4	11,8	2,5	4	10	10	16	16	1,5	1,5	2,5	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
8.000	23,3	13,5	4	6	10	10	16	25	1,5	2,5	2,5	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
9.000	26,2	15,2	4	6	10	16	16	25	2,5	2,5	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
10.000	29,1	16,8	6	6	10	16	25	25	2,5	2,5	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10
12.000	34,9	20,2	6	10	16	16	25	25	2,5	2,5	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10
14.000	40,8	23,6	10	10	16	25	25	35	4	4	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
16.000	46,6	27,0	10	10	16	25	35	35	4	4	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16
18.000	52,4	30,3	16	16	25	25	35	50	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16
20.000	58,3	33,7	16	16	25	25	35	50	6	6	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Condições: 1 - fator de potência de carga: 0,90; 2 - queda de tensão: 2%; 3 - condutor de cobre embutido em eletrodo de PVC.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.5)

Determinar a seção dos condutores isolados em PVC que alimentam um CCM que controla três motores de 40 cv e quatro motores de 15 cv, todos de IV pólos ligados na tensão de 380 V e com fatores de serviços unitários.

Com base nos valores das correntes dos motores dadas na Tabela 6.3, o valor mínimo da capacidade do cabo é:

$$I_c = 3 \times 56,6 + 4 \times 26 = 273,8 \text{ A}$$

Considerando-se que os condutores isolados estão dispostos em eletroduto no interior de canaleta embutida no piso, obtém-se na coluna B1.7 da Tabela 3.6, justificada pela Tabela 3.4 (método de instalação 42), a seção dos condutores fase:

$$S_c = 3 \# 150 \text{ mm}^2 (\text{PVC } 70^\circ\text{C} - 750 \text{ V})$$

O projeto de circuitos terminais e distribuição merecem algumas considerações adicionais:

- quando um motor apresentar mais de uma potência e ou velocidade, a seção do condutor deve ser dimensionada de forma a satisfazer a maior corrente resultante;
- o dimensionamento dos condutores deve permitir uma queda de tensão na partida dos motores igual ou inferior a 10% de sua tensão nominal;
- no caso de partida prolongada, com tempo de aceleração superior a 5 s, deve-se levar em consideração o aquecimento do condutor durante a partida;
- os condutores que alimentam motores que operam em regime de funcionamento que requeiram partidas constantes, tal como elevadores, devem ter seção transversal adequada ao aquecimento provocado pela elevada corrente de partida.

3.5.1.1.3 Circuitos terminais para ligação de capacitores

A capacidade mínima de corrente do condutor deve ser igual a 135% do valor da corrente nominal do capacitor ou banco de capacitores, conforme a Equação (3.12).

$$I_c = 1,35 \times I_{nc} \quad (3.12)$$

I_{nc} – corrente nominal do capacitor ou banco.

Para se calcular a seção de condutores instalados em eletroduto aparente para alimentar um banco de capacitores de 40 kVAr, 380 V, 60 Hz, tem-se:

$$I_{nc} = \frac{P_{nc}}{\sqrt{3} \times V_g} = \frac{40 \times 1.000}{\sqrt{3} \times 380} = 60,7 \text{ A}$$

$$I_c = 1,35 \times 60,7 = 81,9 \text{ A}$$

Considerando-se que os condutores com isolação em PVC/750 V estejam dispostos em eletroduto de instalação aparente, de acordo com a Tabela 3.6 — método de referência B1, justificada pela Tabela 3.4, método de instalação 3, a sua seção vale:

$$S_c = 3 \# 25 \text{ mm}^2$$

3.5.1.1.4 Fatores de correção de corrente

Quando os condutores estão dispostos em condições diferentes daquelas previstas nos métodos de referência estabelecidos nas tabelas de capacidade de condução de corrente, é necessário aplicar sobre os mencionados valores de corrente um fator de redução que mantenha o condutor em regime contínuo, com a temperatura igual ou inferior aos limites estabelecidos.

Os fatores de correção de corrente são estabelecidos para cada condição particular de instalação do cabo, ou seja: temperatura ambiente, solos com resistividade térmica diferente daquela prevista, agrupamento de circuitos, entre outras condições.

3.5.1.1.4.1 Temperatura ambiente

Segundo a NBR 5410/2004, a capacidade de condução de corrente dos condutores prevista nas tabelas correspondentes é de 20°C para linhas subterrâneas e de 30°C para linhas não-subterrâneas.

Se a temperatura do meio ambiente onde estão instalados os condutores for diferente daquela anteriormente especificada, devem-se aplicar os fatores de correção de corrente previstos nas Tabelas 3.12 e 3.13. As referidas tabelas estabelecem as condições de temperatura ambiente para cabos não enterrados (por exemplo: cabos no interior de eletrodutos em instalação aparente) e para cabos diretamente enterrados no solo ou em eletrodutos enterrados.

TABELA 3.12

Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para linhas não-subterrâneas

Temperatura Ambiente (°C)	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
25	1,12	1,08
30	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

TABELA 3.13

Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 20°C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas

Temperatura do Solo (°C)	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

Quando os fios e cabos são instalados num percurso ao longo do qual as condições de resfriamento (dissipação de calor) variam, as capacidades de condução de corrente devem ser determinadas para a parte do percurso que apresenta as condições mais desfavoráveis.

É bom lembrar que os fatores de correção mencionados não levam em consideração o aumento da temperatura devido à radiação solar ou outras radiações infravermelhas.

Como se pode observar nas Tabelas 3.12 e 3.13, quando a temperatura do meio ambiente é superior a 30°C os fatores de correção são menores que 1 e, aplicados às Tabelas 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9, fazem reduzir a capacidade de corrente dos respectivos condutores. Isso se deve ao fato de que, reduzindo-se a corrente do condutor, reduzem-se, por conseguinte, as perdas por efeito Joule, mantendo-se as condições de serviço do cabo inalteradas.

3.5.1.1.4.2 Resistividade térmica do solo

As capacidades de condução de corrente indicadas nas tabelas para cabos contidos em eletrodutos enterrados correspondem à resistividade térmica do solo de 2,5 K · m/W. Para solos com resistividade térmica diferente, devem-se utilizar os valores constantes da Tabela 3.14.

TABELA 3.14

Fatores de correção para cabos em eletrodutos enterrados no solo, com resistividade térmica diferente de 2,5 K · m/W a serem aplicados às capacidades de condução de corrente do método de referência

Resistividade Térmica (K · m/W)	1	1,5	2	3
Fator de correção	1,18	1,1	1,05	0,96

3.5.1.1.4.3 Agrupamento de circuitos

É caracterizado pelo agrupamento de quatro ou mais condutores todos transportando a corrente de carga ao valor correspondente à sua corrente nominal para o método de referência adotado. De acordo com a NBR 5410/2004, devem ser seguidas as seguintes prescrições:

- os fatores de correção são aplicáveis a grupos de condutores isolados, cabos unipolares ou cabos multipolares com a mesma temperatura máxima para serviço contínuo;
- para grupos contendo condutores isolados ou cabos com diferentes temperaturas máximas para serviço contínuo, a capacidade de condução de corrente de todos os cabos ou condutores isolados do grupo deve ser baseada na menor das temperaturas máximas para serviço contínuo de qualquer cabo ou condutor isolado do grupo afetado do valor de correção adotado;
- se, devido às condições de funcionamento conhecidas, um circuito, ou cabo multipolar, for previsto para conduzir não mais que 30% da capacidade de condução de corrente de seus condutores, já afetada pelo fator de correção aplicável, o circuito ou cabo multipolar pode ser omitido para efeito de obtenção do fator de correção do restante do grupo.

A aplicação dos fatores de agrupamento de circuitos depende do método de referência adotado no projeto.

As capacidades de condução de corrente indicadas na Tabela 3.6 e 3.7 são válidas para circuitos simples constituídos pelo seguinte número de condutores:

- dois condutores isolados, dois cabos unipolares ou um cabo bipolar;
- três condutores isolados, três cabos unipolares ou um cabo tripolar.

Quando for instalado, num mesmo grupo, um número maior de condutores ou de cabos, devem ser aplicados os fatores de correção especificados nas Tabelas 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 e 3.19.

Os fatores de correção constantes da Tabela 3.15 devem ser aplicados a condutores agrupados em feixe, seja em linhas abertas ou fechadas, e a condutores agrupados num mesmo plano e numa única camada. Já os condutores constantes da Tabela 3.16 devem ser aplicados a agrupamentos de cabos consistindo em duas ou mais camadas de condutores.

TABELA 3.15

Fatores de correção para agrupamento de circuitos ou cabos multipolares aplicáveis aos valores de capacidade de condução de corrente dados nas Tabelas 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9

Item	Forma de Agrupamento dos Condutores	Número de Circuitos ou de Cabos Multipolares												Tabela 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	3.6 a 3.9 (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				3.6 e 3.8 (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				3.8 e 3.9 (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				

TABELA 3.16

Fatores de correção aplicáveis a agrupamentos consistindo em mais de uma camada de condutores – método de referência C (Tabelas 3.6 e 3.7), E e F (Tabelas 3.8 e 3.9)

Quantidade de Camadas	Quantidade de Circuitos Trifásicos ou de Cabos Multipolares por Camada				
	2	3	4 ou 5	6 a 8	9 ou mais
2	0,68	0,62	0,60	0,58	0,56
3	0,62	0,57	0,55	0,53	0,51
4 ou 5	0,60	0,55	0,52	0,51	0,49
6 a 8	0,58	0,53	0,51	0,49	0,48
9 ou mais	0,56	0,51	0,49	0,48	0,46

TABELA 3.17

Fatores de agrupamento para linhas com cabos diretamente enterrados

Número de Circuitos	Distância entre Cabos ⁽¹⁾				
	Nula	1 Diâmetro do Cabo	0,125 m	0,25 m	0,50 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

⁽¹⁾ Distância entre os condutores tomada entre as superfícies externas dos mesmos.

Devem ser observadas as seguintes prescrições para aplicação das tabelas dos fatores de agrupamento.

a) Prescrições da Tabela 3.15

- somente os condutores efetivamente percorridos por corrente devem ser contados;
- nos circuitos trifásicos equilibrados, o condutor neutro, suposto sem corrente, não deve ser contado;
- o condutor neutro deve ser contado quando efetivamente é percorrido por corrente, como no caso de circuitos trifásicos que servem à iluminação (circuitos supostamente desequilibrados); o fator de agrupamento para essa condição é considerado igual a 0,86;
- os condutores destinados à proteção, condutores PE, não são contados;
- os condutores PEN são considerados como condutores neutros;
- os fatores de correção foram calculados admitindo-se todos os condutores vivos permanentemente carregados com 100% de sua carga. No caso de valor inferior a 100%, os fatores de correção podem ser aumentados conforme as condições de funcionamento da instalação.
- os fatores de correção são aplicados a grupos de cabos uniformemente carregados;
- quando a distância horizontal entre cabos adjacentes for superior ao dobro do seu diâmetro externo, não é necessário aplicar nenhum fator de redução;
- os mesmos fatores de correção são aplicáveis a:
 - grupos de dois ou três condutores isolados ou cabos unipolares;
 - cabos multipolares;
- se um agrupamento é constituído tanto de cabos bipolares como de cabos tripolares, o número total de cabos é tornado igual ao número de circuitos e o fator de correção correspondente é aplicado às tabelas de dois condutores carregados para cabos bipolares, e às tabelas de três condutores carregados para os cabos tripolares.
- se um agrupamento consiste em N condutores isolados ou cabos unipolares, pode-se considerar tanto $N/2$ circuitos com dois condutores carregados como $N/3$ circuitos com três condutores carregados.

b) Prescrições da Tabela 3.16

- os fatores de correção são válidos tanto para camadas com disposições horizontais e verticais;
- no caso de condutores agrupados em uma única camada, utilizar a Tabela 3.15, linhas 2 a 5.

TABELA 3.18

Fatores de agrupamento para linha em eletrodutos enterrados: cabos multipolares

Número de Circuitos	Cabos Multipolares em Eletrodutos - Um Cabo por Eletrodo			
	Espaçamento entre Eletrodutos ⁽¹⁾			
	Nula	0,25 m	0,50 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,80

⁽¹⁾Distância entre os condutores tomada entre as superfícies externas dos mesmos.

TABELA 3.19

Fatores de agrupamento para linha em eletrodutos enterrados: condutores isolados ou cabos unipolares

Número de Circuitos	Condutores Isolados ou Cabos Unipolares em Eletrodutos - Um Condutor por Eletrodo			
	Nula	0,25 m	0,50 m	1,0 m
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

⁽¹⁾Distância entre os condutores tomada entre as superfícies externas dos mesmos.

c) Prescrições da Tabela 3.17

- os fatores de correção são aplicados para uma profundidade dos cabos de 70 cm e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K · m/W;
- o espaçamento entre cabos indicado na tabela refere-se à distância entre os cabos multipolares ou conjuntos de cabos multipolares medida entre as superfícies dos cabos mais próximas.

d) Prescrições da Tabela 3.18

- os fatores de correção são aplicados para uma profundidade dos cabos de 70 cm e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K · m/W;
- o espaçamento entre eletrodutos indicado na tabela refere-se à distância entre os cabos multipolares ou conjuntos de cabos multipolares medida entre as superfícies dos cabos mais próximas.

e) Prescrições da Tabela 3.19

- os fatores de correção são aplicados para uma profundidade dos cabos de 70 cm e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K · m/W;
- o espaçamento entre eletrodutos indicado na tabela refere-se à distância entre os cabos multipolares ou conjuntos de cabos multipolares medida entre as superfícies dos cabos mais próximas.

É bom esclarecer que a aplicação do fator de agrupamento sobre a capacidade nominal da corrente dos condutores, estabelecida nas tabelas apresentadas, compensa o efeito Joule que resulta na elevação de temperatura provocada no interior do duto pela contribuição simultânea de calor de todos os cabos. Consequentemente, a capacidade de condução de corrente dos condutores fica reduzida devendo-se projetar um cabo de seção superior, considerando-se inalterado o valor da carga.

Quando um grupo contiver cabos de dimensões diferentes devem ser aplicadas as seguintes prescrições:

- os fatores de correção estabelecidos nas Tabelas 3.15 a 3.19 são aplicáveis a grupos de cabos semelhantes e igualmente carregados;
- os cálculos dos fatores de correção para cada grupo contendo condutores isolados, ou cabo unipolar ou cabos multipolares de diferentes seções nominais dependem da quantidade de condutores ou cabos e da faixa de seções. Tais fatores não podem ser tabelados e devem ser calculados caso a caso, utilizando, por exemplo, a NBR 11301;
- são considerados semelhantes os cabos cujas capacidades de condução de corrente baseiam-se na mesma temperatura máxima para serviço contínuo e cujas seções nominais estão contidas no intervalo de três seções normalizadas sucessivas;
- tratando-se de condutores isolados, cabos unipolares ou cabos multipolares de dimensões diferentes em condutos fechados ou em bandejas, leitos, prateleiras ou suportes, caso não seja viável um cálculo específico, deve-se utilizar a Equação (3.13).

$$F = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (3.13)$$

F – fator de correção;

N – número de circuitos ou cabos multipolares.

Deve-se considerar a Tabela 3.20 para definir o número de condutores carregados citados nas tabelas de condução de corrente dos condutores. No caso particular do condutor neutro de circuitos trifásicos, assunto tratado mais adiante, quando não houver redução de sua seção em relação ao condutor fase, o neutro deve ser computado como condutor carregado. Assim, num circuito trifásico com neutro, que alimenta cargas com conteúdo harmônico com distorção superior a 15% ou cargas desequilibradas, como, por exemplo, a alimentação de QDLs, o circuito neutro deve ser considerado como condutor carregado e, portanto, sujeito ao fator de correção de agrupamento que a norma NBR 5410/2004 considera igual a 0,86, independentemente do método de instalação que o projetista venha a adotar. Este fator deve ser aplicado à capacidade de corrente dos condutores para a condição de três condutores carregados das Tabelas 3.6 a 3.9.

As Tabelas 3.6 a 3.9 fornecem a capacidade de condução de corrente dos condutores para dois e três condutores carregados. Não existe uma coluna específica para quatro condutores carregados. Assim, para determinar a capacidade de corrente para a essa condição, deve-se aplicar o fator 0,86 às capacidades de condução de corrente dadas nas Tabelas 3.6 a 3.9.

TABELA 3.20

Número de condutores 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

3.5.1.1.5 Condutores em paralelo

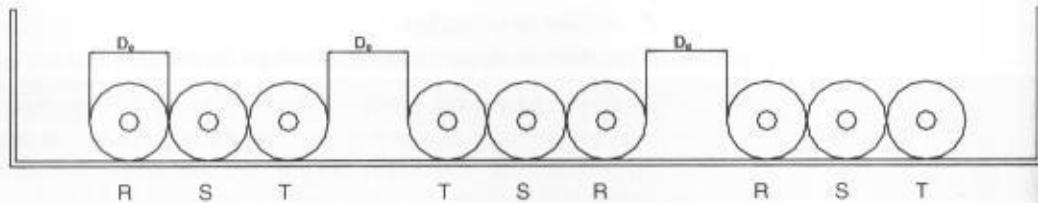
Dois ou mais condutores podem ser ligados em paralelo na mesma fase, atendidas às seguintes prescrições:

- os condutores devem ter aproximadamente o mesmo comprimento;
- os condutores devem ter o mesmo tipo de isolamento;
- os condutores devem ser do mesmo material condutor;
- os condutores devem ter a mesma seção nominal;
- a corrente conduzida por qualquer condutor não deve levar o mesmo a uma temperatura superior à sua temperatura máxima para serviço contínuo;
- devem ser tomadas todas as medidas para garantir que a corrente seja dividida igualmente entre os condutores;
- os condutores não devem conter derivações;
- quando do uso de cabos unipolares, com seção superior a 50 mm², agrupados nas configurações especiais adaptadas a cada caso, cada grupo deve conter todas as fases e o respectivo neutro, se existir, escolhendo-se as configurações de modo a se obter o maior equilíbrio possível entre as impedâncias dos condutores de cada fase;
- quando do uso de cabos unipolares em trifólio, em formação plana ou em conduto fechado com condutores de seção igual ou inferior a 50 mm², cada grupo ou conduto fechado deve conter todas as fases e o respectivo neutro, se existir.

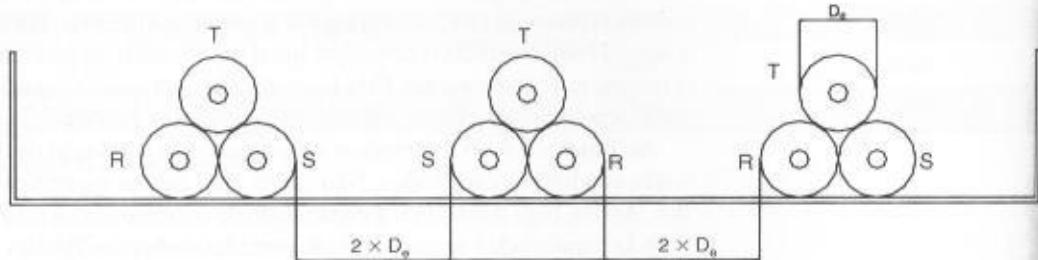
Os circuitos com condutores em paralelo nas posições plana e em trifólio devem estar dispostos respectivamente como mostram as Figuras 3.22 e 3.23, a fim de evitar os desequilíbrios de corrente entre os condutores de uma mesma fase e o consequente desequilíbrio de tensões no ponto de conexão com a carga. Os desequilíbrios de corrente devem-se à diferença entre as indutâncias mútuas dos cabos e que podem chegar a valores expressivos, da ordem de 20%, entre o condutor mais carregado e menos carregado da mesma fase.

FIGURA 3.22

Condutores em posição plana

**FIGURA 3.23**

Condutores em trifólio



3.5.1.1.6 Determinação da seção dos condutores de circuitos trifásicos na presença de correntes harmônicas

A incorporação de cargas não-lineares aos sistemas elétricos de transmissão e distribuição tem aumentado, a cada dia, a circulação de correntes harmônicas, degradando a qualidade de energia elétrica e comprometendo o desempenho dos equipamentos.

São clássicas as cargas geradoras de harmônicos que poluem os sistemas elétricos. Os retificadores, os freios de redução e os laminadores injetam harmônicos de diversas ordens no sistema. Também os transformadores em sobretensão são fontes de harmônicos de 3.^a ordem.

Quando num circuito trifásico com neutro, servindo a cargas não-lineares, cujos componentes harmônicos de 3.^a ordem e seus múltiplos circulam nos condutores carregados, deve-se aplicar sobre a capacidade de corrente de dois condutores fase, dadas nas Tabelas 3.6 a 3.7, o fator de correção, devido ao carregamento do neutro no valor 0,86, independentemente no método da instalação utilizado.

Para determinar a corrente de carga em valor eficaz num circuito contendo componentes harmônicos, utilizar a Equação (3.14).

$$I_c = \sqrt{I_f^2 + \sum I_h^2} \quad (3.14)$$

I_f – corrente de carga ou de projeto na freqüência fundamental.

$$\sum I_h = I_{2h}^2 + I_{3h}^2 + I_{4h}^2 + \dots + I_{nh}^2 \quad (3.15)$$

$I_{2h} + I_{3h} + I_{4h} + \dots + I_{nh}$ – correntes harmônicas de 2.^a, 3.^a, 4.^a, ... e de ordem n.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.6)

Determinar a seção dos condutores fase de um circuito que alimenta um CCM ao qual estão conectadas várias máquinas de controle numérico que demandam uma potência de 84 kVA em 380 V. Nas medições efetuadas no circuito, foram identificados componentes harmônicos de 3.^a, 5.^a e 9.^a ordens, com valores respectivamente iguais a 40, 28 e 15 A. Os condutores são do tipo isolado em PVC e estão instalados em eletrodotudo de PVC contido em canaleta ventilada construída no piso.

- Corrente de carga na onda fundamental

$$I_f = \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V_n} = \frac{84}{\sqrt{3} \times 0,38} = 127,6 \text{ A}$$

- Seção do condutor para a corrente de carga na onda fundamental

$$I_f = 127,6 \text{ A} \rightarrow S_c = 50 \text{ mm}^2 \text{ (método de referência B1 da Tabela 3.6 e método de instalação 424 da Tabela 3.4)}$$

- Corrente de carga total

$$I_c = \sqrt{I_f^2 + \sum I_h^2} = \sqrt{127,6^2 + 40^2 + 28^2 + 15^2} = 137,4 \text{ A}$$

$I_f = 137,4 \text{ A} \rightarrow S_c = 70 \text{ mm}^2$ (método de referência B1 da Tabela 3.6 e método de instalação 42 da Tabela 3.4)

3.5.1.1.7 Determinação da seção econômica de um condutor

Este assunto está devidamente tratado no Capítulo 15, Seção 15.3.2.

3.5.1.2 Critério do limite da queda de tensão

Após o dimensionamento da seção do condutor pela capacidade de corrente de carga, é necessário saber se esta seção está adequada para provocar uma queda de tensão no ponto terminal do circuito, de acordo com os valores mínimos estabelecidos pela norma NBR-5410/2004, ou obedecendo os limites definidos pelo projetista para aquela planta em particular e que sejam inferiores aos limites ditados pela norma citada.

TABELA 3.21

Límites da queda de tensão

Item	Tipo da Instalação	Início da Instalação	Queda de Tensão (%) da Tensão Nominal
a	Instalações alimentadas através de subestação própria	Terminais secundários do transformador de MT/BT	7%
b	Instalações alimentadas através de transformador da companhia distribuidora de energia elétrica	Terminais secundários do transformador de MT/BT, quando o ponto de entrega for aí localizado	7%
c	Instalações alimentadas através da rede secundária de distribuição da companhia distribuidora de energia elétrica	Ponto de entrega	5%
d	Instalações alimentadas através de geração própria (grupo gerador)	Terminais do grupo gerador	7%

Além da Tabela 3.21, algumas prescrições devem ser seguidas:

- para o cálculo da queda de tensão em um circuito, deve ser utilizado a corrente de carga ou corrente de projeto;
- nos circuitos onde circulam componentes harmônicas, devem ser considerados os valores das correntes de diferentes ordens;
- nos circuitos de motor, deve ser considerada a corrente nominal do motor vezes o fator de serviço, quando houver;
- nos circuitos de capacitores, deve ser considerado 135% da corrente nominal do capacitor ou banco;
- nos casos (a), (b) e (d) da Tabela 3.21, quando as linhas principais da instalação tiverem um comprimento superior a 100 m, as quedas de tensão podem ser aumentadas em 0,005% por metro de linha superior a 100 m sem que, no entanto, esta suplementação seja superior a 0,5%;
- quedas de tensão superiores aos valores indicados na Tabela 3.21 podem ser aplicados para equipamentos com correntes de partida elevadas, durante o período de partida, desde que permitidos dentro de suas respectivas normas; este assunto será detalhado no Capítulo 7;
- a queda de tensão nos terminais do dispositivo de partida dos motores elétricos durante o acionamento não deve ser superior a 10% da tensão nominal;
- podem ser toleradas quedas de tensão superiores a 10% desde que não afetem as demais cargas em operação;
- para o cálculo da queda de tensão durante o acionamento de um motor, considerar o fator de potência igual a 0,30.

3.5.1.2.1 Queda de tensão em sistema monofásico (F-N)

A seção mínima do condutor de um circuito monofásico pode ser determinado pela queda de tensão, de modo simplificado, a partir da Equação (3.16).

$$S_c = \frac{200 \times \rho \times \sum (L_c \times I_c)}{\Delta V_c \times V_{f,n}} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3.16)$$

ρ – resistividade do material condutor (cobre): $1/56 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

L_c – comprimento do circuito, em m;

I_c – corrente total do circuito, em A;

ΔV_c – queda de tensão máxima admitida em projeto, em %;

$V_{f,n}$ – tensão entre fase e neutro, em V.

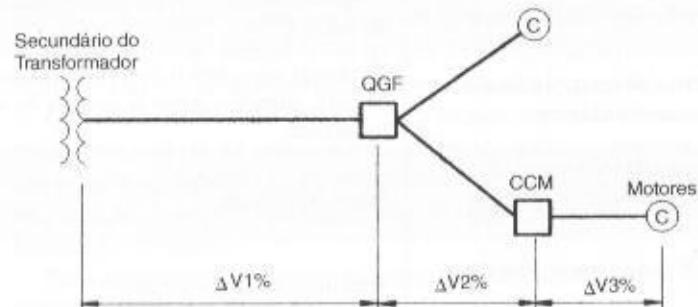
3.5.1.2.2 Queda de tensão em sistema trifásico (3F ou 3F-N)

Os valores máximos de queda de tensão atribuídos pela NBR-5410/2004 para unidades consumidoras atendidas por uma subestação referem-se somente aos circuitos secundários, cuja origem é a própria bucha de baixa tensão do transformador, apesar de, para efeitos legais, a origem da instalação ser o ponto de entrega de energia.

O Capítulo 12 aborda claramente o assunto, indicando o último ponto de responsabilidade da concessionária de energia elétrica e o início do sistema da unidade consumidora. A Figura 3.24 mostra o ponto inicial do circuito a partir do qual devem ser consideradas as quedas de tensão regidas por norma.

FIGURA 3.24

Diferentes trechos de um sistema industrial



Convém lembrar que a queda de tensão ΔV_c é tomada em relação à tensão nominal fase-fase V_f da instalação. Outrossim, existe uma grande diferença entre a queda de tensão num determinado ponto da instalação e a variação de tensão neste mesmo ponto. Ora, a queda de tensão num ponto considerado significa uma redução da tensão em relação a um valor-base, normalmente a tensão nominal. Já a variação da tensão em relação a um determinado valor fixo num ponto qualquer da instalação pode significar a obtenção de tensões abaixo ou acima do valor de referência. Pode-se exemplificar dizendo-se que a queda da tensão até o barramento de um CCM, cuja tensão nominal é de 380 V, vale 4% ($0,04 \times 380 = 15,2$ V). No entanto, se o fornecimento de energia elétrica da concessionária não tem boa regulação, a tensão pode variar ao longo de um determinado período entre -5% e +5%, num total de 10%. Se a tensão pretendida no mesmo CCM é de 380 V, logo se observará neste ponto uma variação de tensão de 361 a 399 V.

A seção mínima do condutor de um circuito trifásico pode ser determinada pela queda de tensão, de modo simplificado, a partir da Equação (3.17).

$$S_c = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times \sum (L_c \times I_c)}{\Delta V_c \times V_f} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3.17)$$

V_f – tensão entre fases, em V.

A queda de tensão no circuito trifásico também pode ser obtida através da Equação (3.18), em sua fórmula mais completa.

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times I_c \times L_c \times (R \times \cos \phi + X \times \sin \phi)}{10 \times N_{cp} \times V_g} (\%) \quad (3.18)$$

N_{cp} – número de condutores em paralelo por fase;

I_c – corrente do circuito, em A;

L_c – comprimento do circuito, em m;

R – resistência do condutor, em $\text{m}\Omega/\text{m}$;

X – reatância do condutor, em $\text{m}\Omega/\text{m}$;

ϕ – ângulo do fator de potência da carga.

Os valores de resistência e reatância dos condutores estão determinados na Tabela 3.22, considerando-se as seguintes condições:

- os condutores estão instalados contíguos, em formação triangular (trifólio);
- a temperatura adotada para o condutor é a de valor máximo permitido para a isolação;
- os condutores são de encordoamento compacto;
- os condutores não possuem blindagem metálica (condutores de baixa tensão).

Quando um circuito é constituído por várias cargas ligadas ao longo de seu percurso e se deseja determinar a seção do condutor, pode-se aplicar com plenitude a Equação (3.17), como mostrado no exemplo seguinte.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.7)

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 pólos, 380 V, fator de serviço unitário, e o comprimento do circuito é de 150 m. Adotar o condutor unipolar isolado em PVC, instalado no interior de canaleta não ventilado, admitindo uma queda de tensão máxima de 5%.

- Corrente de carga

$$I_c = 10 \times 15,4 = 154,0 \text{ A}$$

- Seção mínima do condutor

$S_c = 3 \# 95 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.6 – coluna D13 – justificada pela Tabela 3.4 – método de instalação 61A)

A seção mínima do condutor para uma queda de tensão máxima de 5% vale:

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times I_c \times L_c \times (R \times \cos \phi + X \times \sin \phi)}{10 \times N_{cp} \times V_g} = \frac{\sqrt{3} \times 154 \times 150 \times (0,2352 \times \cos 36,87 + 0,1090 \times \sin 36,87)}{10 \times 1 \times 380}$$

$$\Delta V_c = 2,6\%$$

Logo, a seção do condutor vale $S_c = 3 \# 95 \text{ mm}^2$ (definida pelo método da corrente).

Utilizando a fórmula simplificada da Equação (3.17), tem-se:

$$S_{ml} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times I_c \times L_c}{V_g \times \Delta V_c} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times 1/56 \times 154 \times 150}{380 \times 5} = 37,6 \text{ mm}^2$$

Logo, a seção do condutor a ser utilizado é de 95 mm^2 que satisfaz ao mesmo tempo às condições de capacidade de corrente e da queda de tensão.

Utilizando-se a queda de tensão efetiva de 2,6%, calculada anteriormente, a seção do condutor fase, pelo método simplificado, vale:

$$S_{ml} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times I_c \times L_c}{V_g \times \Delta V_c} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times 1/56 \times 154 \times 150}{380 \times 2,6} = 72,3 \text{ mm}^2$$

TABELA 3.22

Resistência e reatância dos condutores de cobre (valores médios)

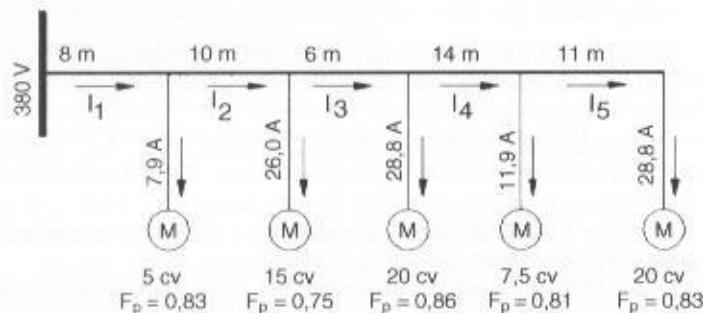
Seção	Impedância de Seqüência Positiva ($m\Omega/m$)		Impedância de Seqüência Zero ($m\Omega/m$)	
	Resistência	Reatância	Resistência	Reatância
1,5	14,8137	0,1378	16,6137	2,9262
2,5	8,8882	0,1345	10,6882	2,8755
4	5,5518	0,1279	7,3552	2,8349
6	3,7035	0,1225	5,5035	2,8000
10	2,2221	0,1207	4,0222	2,7639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

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.8)

Determinar a seção do condutor do circuito mostrado na Figura 3.25, sabendo-se que serão utilizados condutores unipolares isolados em XLPE, dispostos no interior de canaleta ventilada construída no piso. A queda de tensão admitida será de 4%. O fator de potência da carga vale 0,80.

FIGURA 3.25

Círculo de distribuição com várias cargas



Pelo critério da capacidade de corrente, tem-se:

$$I_5 = 28 \text{ A}$$

$$I_4 = 28,8 + 11,9 = 40,7 \text{ A}$$

$$I_3 = 28,8 + 28,8 + 11,9 = 69,5 \text{ A}$$

$$I_2 = 28,8 + 28,8 + 11,9 + 26 = 95,5 \text{ A}$$

$$I_1 = 28,8 + 28,8 + 11,9 + 26 + 7,9 = 103,4 \text{ A}$$

$S_c = 25 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.7 — coluna B1.7 — justificada pela Tabela 3.4 — método de instalação 43)

Pelo critério da queda de tensão e aplicando-se a Equação (3.17), tem-se:

$$S_c = \frac{100 \times \sqrt{3} \times (1/56) \times [(7,9 \times 8) + (26 \times 18) + (28,8 \times 24) + (11,9 \times 38) + (28,8 \times 49)]}{4 \times 380} =$$

$$= \frac{100 \times \sqrt{3} \times 3.085,8}{56 \times 4 \times 380}$$

$$S_c = 6,2 \text{ mm}^2 \rightarrow S_c = 3 \# 10 \text{ mm}^2$$

Logo, o condutor adotado será de:

$$S_c = 3 \# 25 \text{ mm}^2 (\text{XLPE } 90^\circ\text{C} - 0,6/1 \text{ kV})$$

3.5.1.3 Critério da capacidade de corrente de curto-círcuito

Com base na corrente de curto-círcuito, podem-se admitir dois critérios básicos para o dimensionamento da seção do condutor de fase, quais sejam:

- a) Limitação da seção do condutor para uma determinada corrente de curto-círcuito

No dimensionamento dos condutores é de grande importância o conhecimento do nível das correntes de curto-círcuito nos diferentes pontos da instalação, isto porque os efeitos térmicos podem afetar o seu isolamento. É compreensível que os condutores que foram dimensionados para transportar as correntes de carga em regime normal tenham grandes limitações para transportar as correntes de curto-círcuito, que podem chegar a 100 vezes as correntes de carga. Essa limitação está fundamentada no tempo máximo que o condutor pode funcionar transportando a corrente de defeito.

Os gráficos das Figuras 3.26 e 3.27, respectivamente, para os cabos PVC 70°C, XLPE e EPR permitem determinar:

- a máxima corrente de curto-círcuito admissível num cabo;
- a seção do condutor necessária para suportar uma condição particular de curto-círcuito;
- o tempo máximo que o condutor pode funcionar com uma determinada corrente de curto-círcuito sem danificar a isoliação.

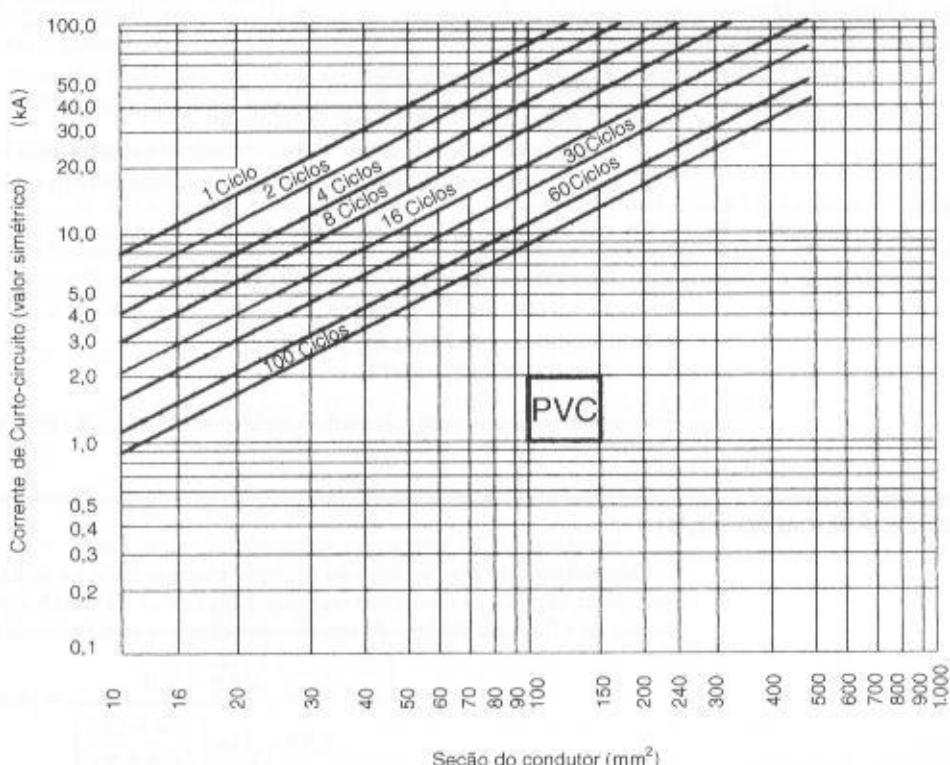
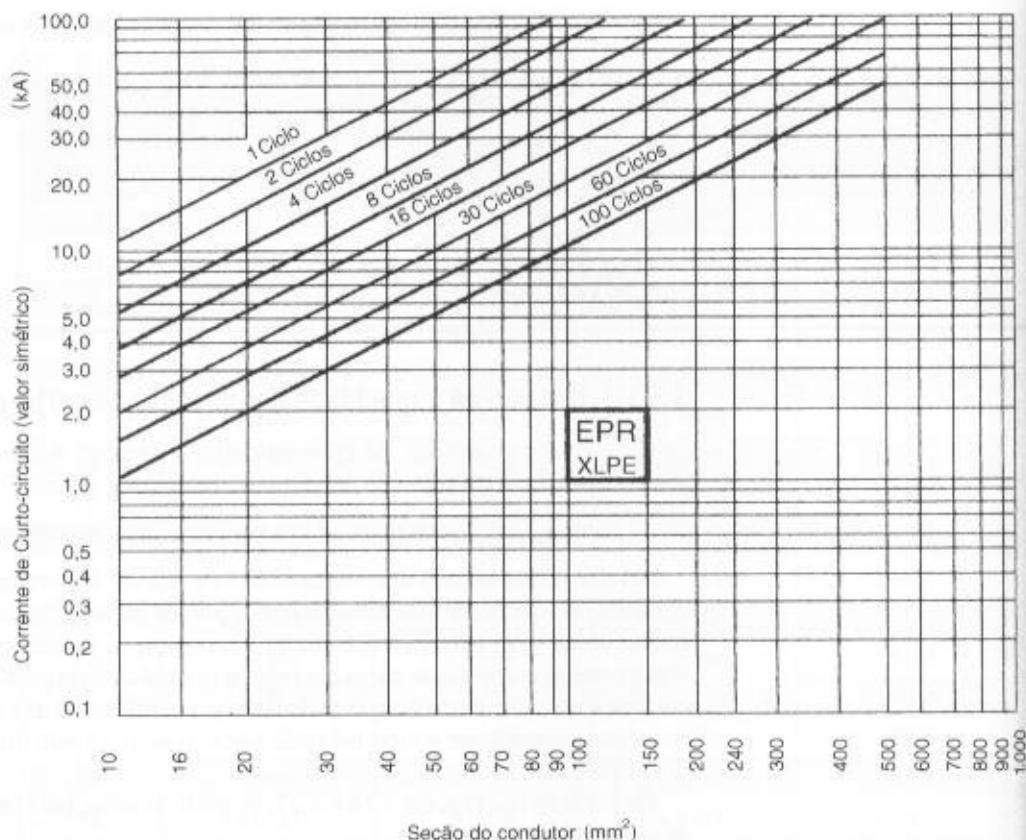


FIGURA 3.26
Capacidade máxima da corrente de curto-círcuito

FIGURA 3.27

Capacidade máxima da corrente de curto-circuito



Logo, a seção mínima do condutor pode ser determinada para uma corrente de curto-circuito particular, através da Equação (3.19), na qual se baseiam os gráficos anteriormente mencionados.

$$S_c = \frac{\sqrt{T_e} \times I_{cr}}{0,34 \times \sqrt{\log\left(\frac{234 + T_f}{234 + T_i}\right)}} \quad (3.19)$$

I_{cr} – corrente simétrica de curto-circuito, em kA;

T_e – tempo de eliminação de defeito, em s;

T_f – temperatura máxima de curto-circuito suportada pela isoliação do condutor, em °C;

T_i – temperatura máxima admissível pelo condutor em regime normal de operação, em °C.

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

- Condutor com isoliação PVC 70°C
 $T_f = 160^\circ\text{C}$ e $T_i = 70^\circ\text{C}$
- Condutor com isoliação XLPE
 $T_f = 250^\circ\text{C}$ e $T_i = 90^\circ\text{C}$

O estudo das correntes de curto-circuito será realizado no Capítulo 5.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.9)

Considerando-se que, no caso do exemplo anterior, onde foi utilizado o cabo de 25 mm²/XLPE 90°C o tempo de eliminação do defeito realizado pelo fusível foi de 0,5 s para uma corrente simétrica de curto-circuito de 4,0 kA no extremo do circuito, determinar a seção mínima do condutor.

$$S_c = \frac{\sqrt{0,5} \times 4,0}{0,34 \times \sqrt{\log\left(\frac{234 + 250}{234 + 90}\right)}} = 19,9 \text{ mm}^2$$

Logo, o condutor de 25 mm² satisfaz às três condições, ou seja, capacidade da corrente de carga, queda de tensão e capacidade da corrente de curto-círcuito.

Através do gráfico da Figura 3.27, obtém-se o mesmo resultado, ou seja, tomando-se a corrente de curto-círcuito de 4,0 kA e cruzando-se a reta de 30 ciclos (0,50 s), obtém-se a seção anteriormente dimensionada.

- b) Limitação do comprimento do circuito em função da corrente de curto-círcuito fase e terra

O comprimento de um determinado circuito deve ser limitado em função da atuação do dispositivo de proteção para uma dada corrente de curto-círcuito fase e terra no ponto de sua instalação. A Equação (3.20) permite definir o comprimento máximo do circuito trifásico em função das impedâncias dos vários componentes do sistema.

$$L_c = \frac{\frac{0,95 \times V_g}{\sqrt{3} \times I_p} - Z_{np}}{2 \times Z_{jp}} \quad (m) \quad (3.20)$$

V_g – tensão entre fases do sistema, em V;

I_p – corrente de curto-círcuito que assegura a atuação da proteção da barra de onde deriva o circuito de comprimento L_c ;

Z_{np} – impedância de seqüência positiva desde a fonte até a barra de onde deriva o circuito já referido, em Ω ;

Z_{jp} – impedância de seqüência positiva do circuito a jusante da barra, ou seja, aquele que deve ter o seu valor limitado ao comprimento L_c , em $m\Omega/m$;

É claro que, se não for possível reduzir o comprimento do circuito (o que normalmente ocorre na prática), deve-se elevar o valor da seção do condutor, pois desta forma reduz-se Z_{jp} , elevando-se consequentemente o limite do comprimento máximo.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.10)

Determinar o comprimento máximo de um circuito que alimenta um motor de 40 cv/380 – IV pólos, sabendo-se que a corrente de curto-círcuito fase e terra no CCM que assegura o disparo da proteção fusível em 0,2 s é de 500 A. A impedância do sistema desde a fonte até o referido CCM é de $(0,014 + j0,026) \Omega$. Os condutores são isolados em PVC e estão instalados em eletroduto no interior de canaleta fechada com dimensão de 30×30 cm. O comprimento do circuito terminal do motor é de 50 m.

A seção do condutor que alimenta o motor vale:

- Pelo critério da corrente de carga

$$I_c = 56,6 \text{ A}$$

$S_c = 3 \# 16 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.6 – coluna B1.7 – justificada pela Tabela 3.4 – método de instalação 41)

Observar, neste caso, que o valor de "V" na Tabela 3.4, que corresponde à altura da canaleta, é bem superior a $20 \times D$, que vale 20 vezes o diâmetro do eletroduto, adotando-se, portanto, o método de referência B1, isto é, $20 \times 26,6 = 53,2 \text{ mm} = 5,32 \text{ cm}$.

- Pelo critério da queda de tensão

$$S_c = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times \sum (L_c \times I_c)}{\Delta V_c \times V_g} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times (1/56) \times 50 \times 56,6}{2 \times 380}$$

$$S_c = 11,5 \text{ mm}^2 \rightarrow S_c = 3 \# 16 \text{ mm}^2$$

- Pelo critério da capacidade de corrente de curto-círcuito

$$S_c = \frac{\sqrt{0,2 \times 0,5}}{0,34 \times \sqrt{\log\left(\frac{234 + 160}{234 + 70}\right)}} = 1,95 \text{ mm}^2$$

$$S_c = 3 \# 2,5 \text{ mm}^2$$

- Pelo critério que limita o comprimento máximo do circuito

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{np} &= 0,014 + j0,026 \rightarrow Z_r = 0,02952 \Omega \\ \bar{Z}_v &= 1,3899 + j0,1173 \text{ m } \Omega/\text{m} \text{ (Tabela 3.22)} \rightarrow Z_{np} = 1,3948 \text{ m } \Omega/\text{m} \\ L_c &= \frac{\frac{0,95 \times 380}{\sqrt{3} \times 500} - 0,02952}{\frac{2 \times 1,3948}{1.000}} = 138,8 \text{ m}\end{aligned}$$

Observar que foi adotada inicialmente a seção de 16 mm², porque satisfazia às três condições anteriores. É importante também observar que o circuito não poderá ter um comprimento superior a 138,8 m, satisfazendo, portanto, todas as condições requeridas.

3.5.2 Critérios para Dimensionamento da Seção Mínima do Condutor Neutro

A NBR-5410/2004 estabelece os critérios básicos para o dimensionamento da seção mínima do condutor neutro, ou seja:

- O condutor neutro não pode ser comum a mais de um circuito.
- Em circuitos monofásicos, a seção do condutor neutro deve ser igual à do condutor fase.
- A seção do condutor neutro em circuito com duas fases e neutro não deve ser inferior à dos condutores fase, podendo ser igual à dos condutores fase se a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos não for superior a 33%.
- A seção do condutor neutro de um circuito trifásico não deve ser inferior à dos condutores fase quando a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos for superior a 15%, podendo, no entanto, ser igual à seção dos condutores fase quando a referida taxa de harmônica não for superior a 33%.
- Quando a seção dos condutores fase de um circuito trifásico com neutro for superior a 25 mm², a seção do condutor neutro pode ser inferior à seção dos condutores fase, limitada à seção da Tabela 3.23, quando as três condições que se seguem forem simultaneamente satisfeitas:
 - o circuito for presumivelmente equilibrado, em serviço normal;
 - a corrente das fases não contiver uma taxa de terceira harmônica e seus múltiplos superior a 15%;
 - o condutor neutro for protegido contra sobrecorrente.

TABELA 3.23
Seção do condutor neutro

Seção dos Condutores Fase (mm ²)	Seção Mínima do Condutor (mm ²)
$S \leq 25$	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
500	185

- f) Num circuito trifásico com neutro ou num circuito com duas fases e um neutro com taxa de componentes harmônicos superior a 33%, a seção do condutor neutro pode ser maior do que a seção dos condutores fase, devido ao valor da corrente que circula no condutor neutro ser maior do que as correntes que circulam nos condutores fase.

Nesta condição, a seção do condutor neutro deve ser determinado a partir da Equação (3.21).

$$I_n = F_{cn} \times I_c \quad (3.21)$$

F_{cn} – fator de correção de corrente de neutro, dado na Tabela 3.24;

I_c – corrente de projeto, em valor eficaz, calculado segundo a Equação (3.14).

Deve-se observar que se a taxa de terceira harmônica for superior a 15% e inferior a 33%, como ocorre nos circuitos de iluminação com o uso de reatores eletrônicos, a seção do condutor neutro não necessariamente precisa ser superior à dos condutores fase.

Pode-se, também, determinar a corrente do condutor neutro de um circuito polifásico desequilibrado a partir das correntes de fase, de acordo com a Equação (3.22).

$$I_n = \sqrt{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 - I_a \times I_b - I_c \times (I_a + I_b)} \quad (3.22)$$

I_a, I_b, I_c – correntes que circulam nas fases A, B e C, respectivamente, em A;

I_n – corrente que circula no condutor neutro, em A;

Para um circuito totalmente equilibrado onde as correntes de fase são iguais, o valor de I_n é nulo, conforme se demonstra pela Equação (3.22).

TABELA 3.24

Fator de correção para a determinação da corrente de neutro

Taxa de 3. ^a Harmônica	Fator de Correção
35% a 35%	1,15
36% a 40%	1,19
41% a 45%	1,24
46% a 50%	1,35
51% a 55%	1,45
56% a 60%	1,55
61% a 65%	1,64
Superior a 66%	1,63
	1,15
	1,19
	1,23
	1,27
	1,3
	1,34
	1,38
	1,41

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.11)

Calcular a corrente que circula no condutor neutro de um sistema trifásico a quatro fios alimentando cargas exclusivamente monofásicas e cujas correntes são $I_a = 50$ A, $I_b = 70$ A e $I_c = 80$ A.

Da Equação (3.22), tem-se:

$$I_n = \sqrt{50^2 + 70^2 + 80^2 - 50 \times 70 - 80 \times (50 + 70)} = 26 \text{ A}$$

Cabe observar, no entanto, que a seção do condutor neutro deve ser dimensionada em função da corrente da fase mais carregada, que é de 80 A que dita a seção do condutor fase.

No caso de circuitos polifásicos e de circuitos monofásicos a três condutores, o neutro deve ser dimensionado considerando-se a carga da fase mais carregada, a partir da seção de fase de 25 mm². A corrente que determina o valor da seção do neutro pode ser expressa através da Equação (3.23).

$$I_n = \frac{D_{cm}}{V_{pn} \times \cos \Psi} (\text{A}) \quad (3.23)$$

D_{cm} – demanda de carga monofásica correspondente à fase mais carregada, em W.

V_{pn} – tensão entre fase e neutro, em V.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.12)

Calcular a seção do condutor neutro de um circuito trifásico (TN-C) que alimenta um CCM, ao qual estão ligados quatro motores trifásicos de 20 cv. Os cabos isolados em PVC estão dispostos em eletroduto aparente.

- Corrente de carga
 $I_c = 4 \times 28,8 = 115,2 \text{ A}$
- Seção do condutor fase
 $S_f = 3 \# 50 \text{ mm}^2 / \text{PVC } 70^\circ\text{C}/750 \text{ V}$ (Tabela 3.6 — coluna B1.7 — justificada pela Tabela 3.4 — método de referência 3)
- Seção do condutor neutro
 $S_n = 1 \# 25 \text{ mm}^2 / \text{PVC } 70^\circ\text{C}/750 \text{ V}$ (Tabela 3.23)

3.5.3 Critérios para Dimensionamento da Seção Mínima do Condutor de Proteção

Todas as partes metálicas não-condutoras de uma instalação devem ser obrigatoriamente aterradas com fins de proteção ou funcional.

O sistema de aterramento deve ser o elemento responsável pelo escoamento à terra de todas as correntes resultantes de defeito na instalação, de forma a prover total segurança às pessoas que a operam e dela se utilizam.

O Capítulo 11 trata especificamente dos sistemas de aterramento e particularmente da malha de terra à qual está ligado o condutor de proteção que será objeto do presente estudo.

A seção transversal do condutor de proteção poderá ser determinada também através da Equação (3.24), quando o tempo de atuação do elemento de proteção for inferior a 5 s.

$$S_p = \frac{\sqrt{I_{\beta}^2 \times T_c}}{K} (\text{mm}^2) \quad (3.24)$$

I_{β} – valor eficaz da corrente de falta fase e terra que pode atravessar o dispositivo de proteção para uma falta de impedância desprezível, em A;

T_c – tempo de eliminação do defeito pelo dispositivo de proteção, em s;

K – fator que depende da natureza do metal do condutor de proteção, das isolações e outras coberturas, e da temperatura inicial e final. O valor de K para o condutor de cobre vale:

- para condutores de proteção providos de isolação não incorporados em cabos multipolares e não enfeixados com outros cabos.

Nesse caso, a temperatura inicial é considerada de 30°C e a final, de 160 e 250°C , respectivamente, para as isolações de PVC, EPR ou XLPE.

- isolação de PVC: $K = 143$ (para condutores até 300 mm^2) e $K = 133$ (para condutores superiores a 300 mm^2);
- isolação de EPR ou XLPE: $K = 176$.
- para condutores de proteção constituídos por veias de cabo multipolar ou enfeixado com outros cabos ou condutores isolados:
- isolação de PVC: $K = 115$ (para condutores até 300 mm^2) e 103 (para condutores superiores a 300 mm^2);
- isolação de EPR ou XLPE: $K = 143$.
- para condutores de proteção nus onde não haja risco de as temperaturas indicadas danificarem qualquer material adjacente:
 - visível e em áreas restritas (temperatura máxima de 500°C): $K = 228$;
 - condições normais (temperatura máxima de 200°C): $K = 159$;
 - risco de incêndio (temperatura máxima de 150°C): $K = 138$.
- A seção mínima do condutor de proteção pode ser dada em função da seção dos condutores fase do circuito, de acordo com a Tabela 3.25.

TABELA 3.25

Seção mínima dos condutores de proteção

Seção Mínima dos Condutores Fase (mm^2)	Seção Mínima dos Condutores de Proteção (mm^2)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$0,5 \times S$

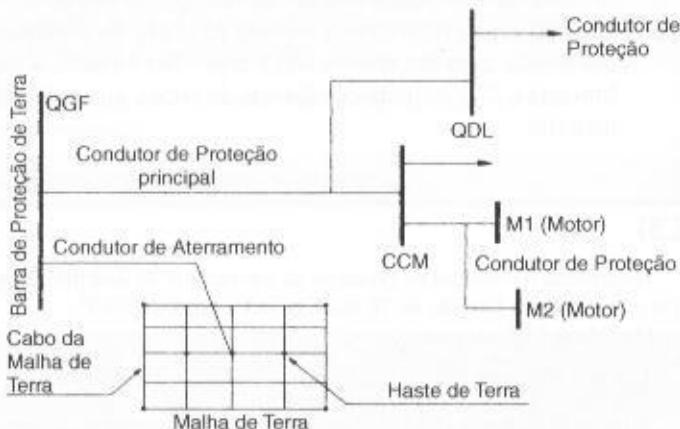
A temperatura inicial considerada é de 30°C.

É bom lembrar que os condutores de proteção nunca devem ser seccionados, inclusive o condutor PEN do sistema TN-C, e que somente fios ou cabos condutores devem ser utilizados para as funções combinadas de condutor de proteção e neutro (PEN).

Para melhor definir a utilização do condutor de proteção, do condutor de aterramento e da malha de terra, observar a Figura 3.28.

FIGURA 3.28

Demonstração de um sistema de aterramento industrial



Para se determinar a seção e as condições de uso de um condutor de proteção, adotar os seguintes princípios definidos na NBR 5410/2004.

- um condutor de proteção pode ser comum a vários circuitos de distribuição ou terminais quando estes estiverem contidos em um mesmo conduto de proteção e sua seção dimensionada para a mais severa corrente de curto-circuito presumida e o mais longo tempo de atuação do dispositivo de seccionamento automático ou, ainda, determinada de acordo com a Tabela 3.25.
- se o condutor de proteção não fizer parte do mesmo cabo ou do mesmo invólucro dos condutores fase, a sua seção não deverá ser inferior a:
 - 2,5 mm^2 se for protegido mecanicamente;
 - 4 mm^2 se não for protegido mecanicamente.
- podem-se usar como condutor de proteção os seguintes elementos:
 - veias de cabos multipolares;
 - condutores isolados ou cabos unipolares num invólucro comum ao dos condutores vivos;
 - armações, coberturas metálicas ou blindagens de cabos;
 - eletrodutos metálicos e outros condutos metálicos, desde que a sua continuidade elétrica seja assegurada dentro das condições normativas e que a sua condutância seja pelo menos igual àquela prevista na referida norma;
 - os elementos estranhos à instalação, tal como as armações de ferro do concreto armado, somente obedecendo a certas condições podem ser utilizados como condutor de proteção, porém nunca devem ser aplicados na função combinada de neutro e de condutor de proteção;

- nos esquemas TN, as funções de condutor de proteção e de condutor neutro poderão ser combinadas quando o condutor de proteção tiver uma seção maior ou igual a 10 mm^2 em cobre nas instalações fixas, observando-se que o condutor PEN deve ser separado a partir do ponto de entrada da linha da edificação;
- o condutor PEN deve ser isolado para tensões elevadas a que possa ser submetido, a fim de evitar fugas de corrente; entretanto, no interior de quadros e conjuntos de controle, o condutor PEN não precisa ser isolado;
- se, a partir de um ponto qualquer da instalação, o condutor neutro e o condutor de proteção forem separados, não será permitido religá-los após esse ponto;
- os seguintes elementos não podem ser utilizados como condutor de proteção:
 - as canalizações metálicas de água e gás não devem ser utilizadas como condutores de proteção;
 - tubulações de água;
 - tubulações de gases ou líquidos combustíveis ou inflamáveis;
 - elementos de construção sujeitos a esforços mecânicos em serviço normal;
 - eletrodutos flexíveis, exceto quando concebidos para esse fim;
 - armadura de concreto;
 - estrutura e elementos metálicos da edificação.
- os condutores de eqüipotencialidade da ligação eqüipotencial principal devem possuir seções que não sejam inferiores à metade da seção do condutor de proteção de maior seção da instalação, com um mínimo de 6 mm^2 . No entanto, a seção do condutor neutro pode ser limitada a 25 mm^2 para condutores de cobre, ou seção equivalente, se a seção for de outro material.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.13)

Determinar o condutor de proteção de um circuito de distribuição que liga o QGF ao CCM, sabendo-se que os condutores fase são de 70 mm^2 , isolados em PVC 70°C .

Da Tabela 3.25, tem-se:

$$S_p = 0,5 \times S_f = 0,5 \times 70 = 35 \text{ mm}^2$$

A partir da Equação (3.24), considerando-se que a corrente de curto-circuito franco monopolar no CCM seja de 9.500 A , o tempo de atuação da proteção seja de 80 ms e que o condutor de proteção esteja no mesmo eletroduto dos condutores fase, tem-se:

$$K = 143$$

$$T_c = 80 \text{ ms} = 0,08 \text{ s}$$

$$S_p = \frac{\sqrt{I_{\delta}^2 \times T_c}}{K} = \frac{\sqrt{9.500^2 \times 0,08}}{143} = 18,8 \text{ mm}^2 \rightarrow S_p = 25 \text{ mm}^2$$

Logo, poderá ser adotada a seção de $S_p = 25 \text{ mm}^2$.

3.6 CONDUTORES DE MÉDIA TENSÃO

Nas instalações industriais de pequeno e médio portes, a utilização de condutores primários (tensão superior a 1 kV) dá-se basicamente no ramal subterrâneo que interliga a rede de distribuição aérea da concessionária com a subestação consumidora da instalação, conforme se pode observar em várias figuras do Capítulo 12. Em indústrias de maior porte, porém, é grande a aplicação de condutores primários, em cabo unipolar, alimentando as várias subestações de potência existentes em diferentes pontos da planta.

O dimensionamento dos condutores de média tensão implica o conhecimento dos tipos de linhas elétricas conhecidos através da Tabela 3.26, de acordo com a NBR 14039/2003, a partir dos quais podem ser conhecidos os métodos de referência da instalação dos condutores para os quais a capacidade de condução de corrente foi determinada por cálculo. A Tabela 3.27 fornece os métodos de referência estabelecidos pela NBR 14039/2003.

TABELA 3.26

Tipos de linhas elétricas

Método de Instalação Número	Descrição	Método de Referência a Utilizar para a Capacidade de Condução de Corrente
1	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar ao ar livre	A
2	Três cabos unipolares espaçados ao ar livre	B
3	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar em canaleta fechada no solo	C
4	Três cabos unipolares espaçados em canaleta fechada no solo	D
5	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar em eletroduto ao ar livre	E
6	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar em banco de dutos ou eletroduto enterrado no solo	F
7	Três cabos unipolares em banco de dutos ou eletrodutos enterrados e espaçados – um cabo por duto ou eletroduto não-condutor	G
8	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar diretamente enterrados	H
9	Três cabos unipolares espaçados diretamente enterrados	I

TABELA 3.27

Métodos de referência

Descrição	Método de Referência a Utilizar para a Capacidade de Condução de Corrente
Cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e cabos tripolares ao ar livre	A
Cabos unipolares espaçados ao ar livre	B
Cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e cabos tripolares em canaletas fechadas no solo	C
Cabos unipolares espaçados em canaleta fechada no solo	D
Cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e cabos tripolares em eletroduto ao ar livre	E
Cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e cabos tripolares em banco de dutos ou eletrodutos enterrados no solo	F
Cabos unipolares em banco de dutos ou eletrodutos enterrados e espaçados – um cabo por duto ou eletroduto não-condutor	G
Cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e cabos tripolares diretamente enterrados	H
Cabos unipolares espaçados diretamente enterrados	I

Para o entendimento dos métodos de referência, devem ser observadas as seguintes condições previstas pela NBR 14039/2003:

- Nos métodos A e B, o cabo é instalado com convecção livre, sendo a distância a qualquer superfície adjacente no mínimo 0,5 vez o diâmetro externo do cabo para cabo unipolar, ou

no mínimo 0,3 vez o diâmetro externo do cabo para cabo tripolar.

- Nos métodos C e D, o cabo é instalado em canaleta fechada com 50 cm de largura e 50 cm de profundidade, sendo a distância a qualquer superfície adjacente no mínimo 0,5 vez o diâmetro externo do cabo para cabo unipolar, ou no mínimo 0,3 vez o diâmetro externo do cabo para cabo tripolar.
- No método E, o cabo é instalado num eletroduto não-condutor e a distância a qualquer superfície adjacente deve ser no mínimo 0,3 vez o diâmetro externo do eletroduto, sem levar em consideração o efeito da radiação solar direta.

TABELA 3.28

Capacidade de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A, B, C, D, E, F, G, H e I

Cabos unipolares e multipolares: condutor de cobre, isolamento XLPE e EPR; dois e três condutores carregados; temperatura no condutor: 90°C; temperatura ambiente: 30°C e 20°C para instalações subterrâneas.

Tensão	Seção (m²)	Métodos de Instalação para Linhas Elétricas								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tensão nominal menor ou igual a 8,7/15 kV	10	87	105	80	92	67	55	63	65	78
	16	114	137	104	120	87	70	81	84	99
	25	150	181	135	156	112	90	104	107	126
	35	183	221	164	189	136	108	124	128	150
	50	221	267	196	226	162	127	147	150	176
	70	275	333	243	279	200	154	178	183	212
	95	337	407	294	336	243	184	213	218	250
	120	390	470	338	384	278	209	241	247	281
	150	45	536	382	43	315	234	270	276	311
	185	510	613	435	491	357	263	304	311	347
	240	602	721	509	569	419	303	351	358	395
	300	687	824	575	643	474	340	394	402	437
	400	796	959	658	734	543	382	447	453	489
	500	907	1.100	741	829	613	426	502	506	542
	630	1.027	1.258	829	932	686	472	561	562	598
	800	1.148	1.411	916	1.031	761	517	623	617	655
	1.000	1.265	1.571	996	1.126	828	555	678	666	706
Tensão nominal maior que 8,7/15 kV	16	118	137	107	120	91	72	83	84	98
	25	154	179	138	155	117	92	106	108	125
	35	186	217	166	187	139	109	126	128	149
	50	225	259	199	221	166	128	148	151	175
	70	279	323	245	273	205	156	181	184	211
	95	341	394	297	329	247	186	215	219	250
	120	393	454	340	375	283	211	244	248	281
	150	448	516	385	423	320	236	273	278	311
	185	513	595	437	482	363	265	307	312	347
	240	604	702	510	560	425	306	355	360	395
	300	690	802	578	633	481	342	398	404	439
	400	800	933	661	723	550	386	452	457	491
	500	912	1.070	746	817	622	431	507	511	544
	630	1.032	1.225	836	920	698	477	568	568	602
	800	1.158	1.361	927	1.013	780	525	632	628	660
	1.000	1.275	1.516	1.009	1.108	849	565	688	680	712

- No método F, os cabos unipolares são instalados num eletroduto não-condutor e os cabos tripolares em eletrodutos não-condutores metálicos no solo de resistividade térmica de 2,5 K · m/W, a uma profundidade de 0,9 m. Foi considerado, no caso de banco de duto, largura de 0,3 m e altura de 0,3 m, e com resistividade térmica de 1,2 K · m/W.
- No método G, os cabos unipolares são instalados em eletrodutos não-condutores espaçados do duto adjacente em uma vez o diâmetro externo do duto, no solo de resistividade térmica de 2,5 K · m/W, a uma profundidade de 0,90 m. Foi considerado, no caso de banco de

TABELA 3.29

Capacidade de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A, B, C, D, E, F, G, H e I

Cabos unipolares e multipolares: condutor de cobre, isolação EPR; dois e três condutores carregados; temperatura no condutor: 105°C no condutor; temperatura ambiente: 30°C e 20°C para instalações subterrâneas.

Tensão	Seção (mm ²)	Métodos de Instalação para Linhas Elétricas								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tensão nominal menor ou igual a 8,7/15 kV	10	97	116	88	102	75	60	68	70	84
	16	127	152	115	133	97	76	88	90	107
	25	167	201	150	173	126	98	112	115	136
	35	204	245	182	209	153	117	134	137	162
	50	246	297	218	250	183	138	158	162	190
	70	307	370	269	308	225	168	192	197	229
	95	376	453	327	372	273	20	229	235	270
	120	435	523	375	425	313	227	260	266	303
	150	496	596	424	479	354	254	291	298	336
	185	568	683	482	543	403	286	328	335	375
	240	672	802	564	630	472	330	379	387	427
	300	767	918	639	712	535	369	426	434	473
	400	890	1.070	731	814	613	416	483	490	529
	500	1.015	1.229	825	920	693	465	543	548	588
	630	1.151	1.408	924	1.035	777	515	609	609	650
	800	1.289	1.580	1.022	1.146	863	565	676	671	712
	1.000	1.421	1.762	1.112	1.253	940	608	738	725	769
Tensão nominal maior que 8,7/15 kV	16	131	151	118	132	102	78	90	91	106
	25	171	199	153	171	131	100	114	116	135
	35	207	240	184	206	156	118	136	138	161
	50	250	286	20	244	187	139	160	163	189
	70	b	357	272	301	230	169	195	198	228
	95	379	436	329	362	278	202	232	236	269
	120	438	503	377	414	319	229	263	267	303
	150	498	572	426	467	360	256	294	299	336
	185	571	660	484	532	409	288	331	337	375
	240	672	779	565	619	479	332	383	389	427
	300	768	891	641	699	542	372	430	436	475
	400	891	1.037	734	800	621	420	488	493	531
	500	1.018	1.192	829	905	703	469	549	553	590
	630	1.155	1.367	930	1.020	790	521	616	616	653
	800	1.297	1.518	1.033	1.124	882	574	686	682	718
	1.000	1.430	1.694	1.125	1.231	961	619	748	739	775

duto, largura de 0,5 m e altura de 0,5 m, com quatro dutos, e com resistividade térmica de 1,2 K · m/W.

- No método H, o cabo é instalado diretamente no solo de resistividade térmica de 2,5 K · m/W, a uma profundidade de 0,90.
- No método I, o cabo é instalado diretamente no solo de resistividade térmica de 2,5 K · m/W, a uma profundidade de 0,90 m, e o espaçamento entre os cabos unipolares deve ser no mínimo igual ao diâmetro externo do cabo.

Para se determinar a capacidade de corrente de um condutor de média tensão deve-se recorrer às Tabelas 3.28 e 3.29 para cabos de cobre unipolares e multipolares e diferentes métodos de referência.

3.6.1 Fatores de Correção de Corrente

Da mesma forma que os condutores secundários, os condutores primários, quando submetidos a condições ambientais diferentes daquelas para as quais foram calculadas as suas capacidades de corrente nominal, devem sofrer alterações nos valores de condução de corrente, de maneira que a temperatura máxima permitida não ultrapasse os limites estabelecidos por norma.

3.6.1.1 Temperatura ambiente

Para o cálculo das tabelas apresentadas, foram consideradas as temperaturas médias de 25°C para o solo e de 30°C para canaletas, eletrodutos e ao ar livre. Se a temperatura no local de instalação dos cabos for diferente daquela tomada como referência, os valores de corrente devem ser multiplicados pelos fatores de correção estabelecidos nas Tabelas 3.30 e 3.31.

3.6.1.2 Agrupamento de cabos

Quando os cabos estão agrupados de modos diferentes daqueles apresentados nas Tabelas 3.28 e 3.29 de capacidade de condução de corrente, é necessário que se aplique fatores de correção de corrente para agrupamento de cabos de forma a se determinar a ampacidade dos condutores que satisfaça às novas condições de instalação. Os fatores de agrupamento para os diferentes métodos de referência estão dados nas Tabelas 3.32 a 3.36, extraídos da NBR 14039/2003.

TABELA 3.30

Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para linhas não-subterrâneas

Temperatura Ambiente em °C	Isolação	
	EPR ou XLPE	EPR 105
10	1,15	1,13
15	1,12	1,10
20	1,08	1,06
25	1,04	1,03
35	0,96	0,97
40	0,96	0,93
45	0,87	0,89
50	0,82	0,86
55	0,76	0,82
60	0,71	0,77
65	0,65	0,73
70	0,58	0,68
75	0,50	0,63
80	0,41	0,58

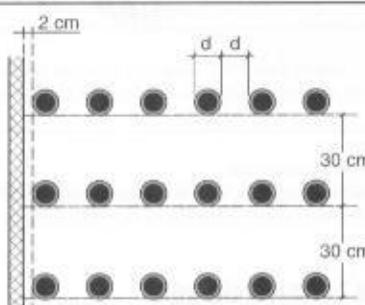
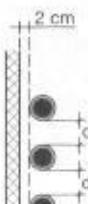
TABELA 3.31

Fatores de correção para temperaturas do solo diferentes de 20°C para linhas subterrâneas

Temperatura do Solo em °C	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
10	1,07	1,06
15	1,04	1,03
25	0,96	0,97
30	0,93	0,94
35	0,89	0,91
40	0,85	0,87
45	0,80	0,84
50	0,76	0,80
55	0,71	0,76
60	0,65	0,72
65	0,60	0,68
70	0,53	0,64
75	0,46	0,59
80	0,38	0,54

TABELA 3.32

Fatores de correção para cabos unipolares em plano espaçados ao ar livre a serem aplicados às capacidades de condução de corrente do método de referência B

Agrupamento de cabos em sistemas trifásicos, instalados em ambientes abertos e ventilados. Estes valores são válidos, desde que os cabos mantenham as disposições de instalação propostas.	Número de Ternas	Número de bandejas			
		1	2	3	
Instalação em bandejas					
		Número de bandejas	Fator de correção (F_c)		
		1	1,00	0,97	0,96
		2	0,97	0,94	0,93
		3	0,96	0,93	0,92
		6	0,94	0,91	0,90
Instalação vertical					
			0,94	0,91	0,89
Casos onde não há necessidade de correção	No caso de instalações em plano, aumentando-se a distância entre os cabos reduz-se o aquecimento mútuo. Entretanto, simultaneamente, aumenta-se as perdas nas blindagens metálicas. Por isso, torna-se impossível dar indicação sobre disposição para as quais não há necessidade de fator de correção.				

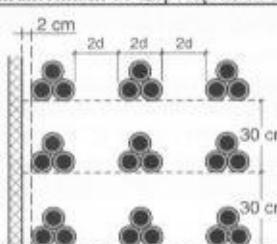
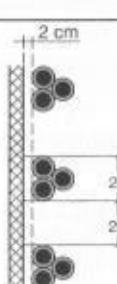
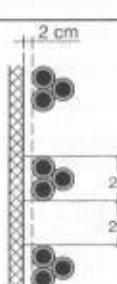
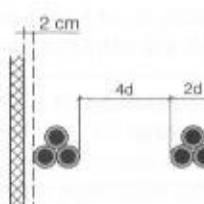
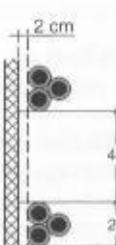
Notas:

(1) Esses fatores são aplicáveis a grupo de cabos uniformemente carregados.

(2) Os valores indicados são medidos para a faixa usual de seções nominais, com dispersão geralmente inferior a 5%.

TABELA 3.33

Fatores de correção para cabos unipolares em trifólio ao ar livre a ser aplicados às capacidades de condução de corrente do método de referência A

	Agrupamento de cabos em sistemas trifásicos, instalados em ambientes abertos e ventilados. Estes valores são válidos, desde que os cabos mantenham as disposições de instalação propostas.	Número de Ternas		
		1	2	3
Instalação em bandejas	 	Número de bandejas	Fator de correção (F_c)	
		1	1,00	0,98
		2	1,00	0,95
		3	1,00	0,94
Instalação vertical		1,0	0,93	0,90
Casos onde não há necessidade de correção	 	Número qualquer de ternas		

Notas:

(1) Esses fatores são aplicáveis a grupo de cabos uniformemente carregados.

(2) Os valores indicados são médios para a faixa usual de seções nominais, com dispersão geralmente inferior a 5%.

3.6.1.3 Resistividade térmica do solo

Nas Tabelas 3.35 e 3.36, as capacidades de condução de corrente indicadas para linhas subterrâneas são válidas para uma resistividade térmica do solo de 2,5 K · m/W.

Para os cabos instalados em dutos subterrâneos ou diretamente enterrados, o valor da resistividade média do solo adotado é de 2,5 K · m/W.

Quando a resistividade térmica do solo for diferente do valor anteriormente mencionado, considerando solos de característica seca, a capacidade de corrente dos condutores pode ser determinada de acordo com a Tabela 3.37.

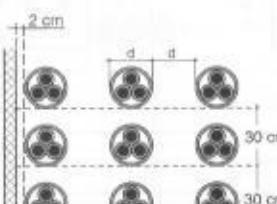
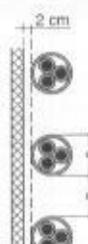
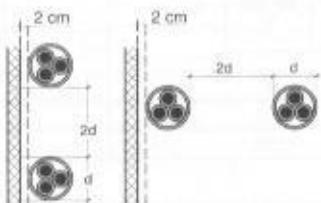
EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.14)

Determinar a seção de um condutor primário de um circuito trifásico com isolamento de XLPE, isolamento XLPE, tensão nominal de 8,7/15 kV, sabendo-se que a sua instalação é em bandeja, alimentando uma carga de 6,5 MVA e que está agrupado com mais um circuito trifásico, na mesma bandeja, cujos cabos unipolares estão dispostos em camada única, separados por uma distância igual ao seu diâmetro.

$$I_c = \frac{6.500}{\sqrt{3} \times 13,80} = 271,9 \text{ A}$$

TABELA 3.34

Fatores de correção para cabos tripolares ao ar livre a serem aplicados às capacidades de condução de corrente do método de referência A

	Agrupamento de cabos em sistemas trifásicos, instalados em ambientes abertos e ventilados. Estes valores são válidos, desde que os cabos mantenham as disposições de instalação propostas.	Número de bandejas	Número de Ternas				
			1	2	3	6	9
Instalação em bandejas		1	1,00	0,98	0,92	0,93	0,92
		2	1,00	0,95	0,93	0,90	0,89
		3	1,00	0,94	0,92	0,89	0,88
		6	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86
Instalação vertical			1,0	1,0	0,90	0,87	0,87
Casos onde não há necessidade de correção			Número qualquer de ternas				

Notas:

(1) Esses fatores são aplicáveis a grupo de cabos uniformemente carregados.

(2) Os valores indicados são medidos para a faixa usual de seções nominais, com dispersão geralmente inferior a 5%.

Aplicando-se o fator de correção de agrupamento de valor igual a 0,97, dado na Tabela 3.32, considerando-se duas terna de cabos e uma bandeja, tem-se:

$$I_c = \frac{271,9}{0,97} = 280,3 \text{ A}$$

Através da Tabela 3.28 e consultando-se a coluna correspondente ao método de referência B, obtém-se a seção do condutor:

$$S_c = 70 \text{ mm}^2 \text{ (isolamento XLPE - 8,7/15 kV)}$$

3.7 BARRAMENTOS

Os barramentos são elementos de seção transversal, normalmente de formato retangular ou circular, instalados no interior de quadros de comando ou em subestações abrigadas, blindadas e ao tempo, com a finalidade de coletar as correntes que chegam da fonte e distribui-las aos diversos alimentadores a eles conectados. Podem ser construídos em cobre ou alumínio.

Os barramentos podem ser caracterizados por dois diferentes tipos:

a) Barramentos de fabricação específica

São aqueles construídos com a utilização de barras chatas, circulares ou tubos de segmento contínuo, de cobre ou alumínio, não isolados, cortados nas dimensões justas para uma finalidade

TABELA 3.35

Fatores de correção para cabos unipolares e cabos tripolares em banco de dutos a serem aplicados às capacidades de condução de corrente dos métodos de referência F e G

Multiplicar pelos valores do método de referência G (um cabo unipolar por duto)			
Até seções de 95 mm ² , inclusive	1,00	0,90	0,82
Acima de 95 mm ²	1,00	0,87	0,77
Multiplicar pelos valores do método de referência F (três cabos unipolares em trifólio por duto)			
Até seções de 95 mm ² , inclusive	0,91	0,85	0,79
Acima de 95 mm ²	0,88	0,81	0,73
Multiplicar pelos valores do método de referência F (três cabos unipolares em trifólio por duto)			
Até seções de 95 mm ² , inclusive	0,91	0,85	0,79
Acima de 95 mm ²	0,88	0,81	0,73

Notas: (1) Os valores indicados são aplicáveis para uma resistividade térmica do solo de 0,9 K · m/W. São valores médios para as mesmas dimensões dos cabos utilizados nas colunas F e G das Tabelas 3.28 e 3.29. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de 10% em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos ou para outras configurações, deve-se recorrer à NBR 11301.

(2) Dimensões: a = 76 cm, b = 48 cm, c = 20 cm, d = 68 cm.

específica, ou seja, aplicação em painéis elétricos, subestações blindadas, abrigadas e ao tempo, conforme mostrado no Capítulo 12.

b) Barramentos pré-fabricados ou dutos de barra

São aqueles construídos de vários segmentos pré-fabricados e conectáveis, formando vários tipos de derivação, junções etc., normalmente protegidos por um invólucro metálico ou de material plástico rígido, empregados em circuitos de elevadas correntes de carga, conectando, normalmente, o Quadro Geral de Força da Subestação aos Centros de Controle de Motores, conforme mostrado na Figura 3.29.

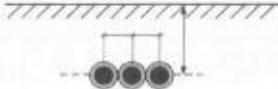
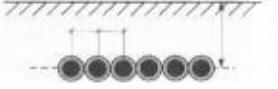
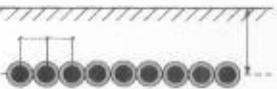
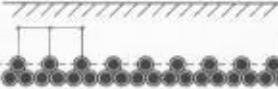
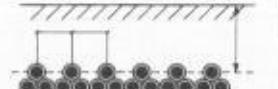
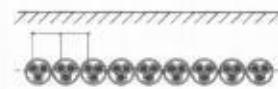
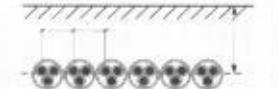
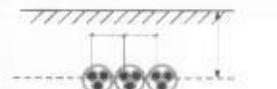
As tabelas com as características das barras de cobre retangulares, redondas ou tubulares constam da norma DIN 43.671. Já as características das barras de alumínio retangulares e tubulares constam da norma DIN 43.670.

3.7.1 Barramentos Retangulares de Cobre

São aqueles empregados normalmente em painéis metálicos de baixa e média tensão, dimensionados de acordo com a corrente de carga, conforme Tabela 3.38 e os esforços eletrodinâmicos das correntes de curto-círcuito.

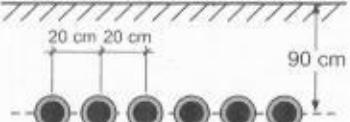
TABELA 3.36

Fatores de correção para cabos unipolares e cabos tripolares em banco de dutos a ser aplicados às capacidades de condução de corrente dos métodos de referência H e I

Multiplicar pelos valores do método de referência I (cabos unipolares espaçados diretamente enterrados)			
Até seções de 95 mm ² , inclusive	1,00	0,87	0,8
Acima de 95 mm ²	1,00	0,85	0,78
Multiplicar pelos valores do método de referência H (cabos unipolares em trifólio diretamente enterrados)			
Até seções de 95 mm ² , inclusive	0,86	0,79	0,71
Acima de 95 mm ²	0,83	0,76	0,67
Multiplicar pelos valores do método de referência H (cabo tripolar diretamente enterrado)			
Até seções de 95 mm ² , inclusive	0,86	0,79	0,71
Acima de 95 mm ²	0,83	0,76	0,67

Nota- (1) Os valores indicados são aplicáveis para uma resistividade térmica do solo de 2,5 K · m/W. São valores médios para as mesmas dimensões dos cabos utilizados nas colunas H e I das Tabelas 3.28 e 3.29. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de 10% em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos ou para outras configurações, deve-se recorrer à NBR 11301.

(2) Dimensões (para todas as configurações da Tabela 3.36).



Se o barramento é pintado, as correntes nominais podem ser acrescidas de um fator de multiplicação $K = 1,2$. Neste caso, há maior dissipação de calor através da superfície das barras em função da cor, normalmente mais clara, da tinta de cobertura. A Tabela 3.38 fornece as capacidades de corrente para diferentes barras retangulares de cobre sem pintura.

1.7.2 Barramentos Redondos Maciços de Cobre

São aqueles constituídos de barras circulares maciças de cobre de diferentes seções transversais, destinados normalmente a subestações de média tensão, abrigadas ou ao tempo, cujas capacidades de corrente nominal são dadas na Tabela 3.39.

1.7.3 Barramentos Tubulares de Cobre

São constituídos de tubos de cobre de diferentes seções circulares, empregados normalmente em subestações de média e alta tensões, localizadas em ambientes agressivos, marítimos ou industriais, cujas capacidades de corrente são dadas na Tabela 3.40.

TABELA 3.37

Fatores de correção para cabos contidos em eletrodutos enterrados no solo ou diretamente enterrados com resistividades térmicas diferentes de $2,5 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ a serem aplicados às capacidades de condução de corrente do método de referência F, G, H e I

Resistividade Térmica ($\text{K} \cdot \text{m/W}$)	1	1,5	2	3
Fator de correção métodos F e G	1,25	1,15	1,07	0,94
Fator de correção métodos H e I	1,46	1,24	1,1	0,92

TABELA 3.38

Capacidade de corrente para barras retangulares de cobre sem pintura

Largura mm	Espessura mm	Seção mm^2	Peso kg/m	Resistência $\text{m}\Omega/\text{m}$	Reatância $\text{m}\Omega/\text{m}$	Capacidade de Corrente Permanente (A)					
						Barra Pintada			Barra Nua		
						Número de Barras por Fase			1	2	3
12	2	23,5	0,209	0,9297	0,2859	123	202	228	108	182	216
15	2	29,5	0,262	0,7406	0,2774	148	240	261	128	212	247
	3	44,5	0,396	0,4909	0,2619	187	316	381	162	282	361
20	2	39,5	0,351	0,5531	0,2664	189	302	313	162	264	298
	3	59,5	0,529	0,3672	0,2509	273	394	454	204	348	431
	5	99,1	0,882	0,2205	0,2317	319	560	728	274	500	690
	10	199,0	1,770	0,1098	0,2054	497	924	1.320	427	825	1.180
25	3	74,5	0,663	0,2932	0,2424	287	470	525	245	412	498
	5	125,0	1,110	0,1748	0,2229	384	662	839	327	586	795
30	3	89,5	0,796	0,2441	0,2355	337	544	593	285	476	564
	5	140,0	1,330	0,1561	0,2187	447	760	944	379	627	896
	10	299,0	2,660	0,0731	0,1900	676	1.200	1.670	573	1.060	1.480
40	3	119,0	1,050	0,1836	0,2248	435	692	725	366	600	690
	5	199,0	1,770	0,1098	0,2054	573	952	1.140	482	836	1.090
	10	399,0	3,550	0,0548	0,1792	850	1.470	2.000	715	1.290	1.770
50	5	249,0	2,220	0,0877	0,1969	697	1.140	1.330	583	994	1.260
	10	499,0	4,440	0,0438	0,1707	1.020	1.720	2.320	852	1.510	2.040
60	5	299,0	2,660	0,0731	0,1900	826	1.330	1.510	688	1.150	1.440
	10	599,0	5,330	0,0365	0,1639	1.180	1.960	2.610	989	1.720	2.300
80	5	399,0	3,550	0,0548	0,1792	1.070	1.680	1.830	885	1.450	1.750
	10	799,0	7,110	0,0273	0,1530	1.500	2.410	3.170	1.240	2.110	2.790
100	5	499,0	4,440	0,0438	0,1707	1.300	2.010	2.150	1.080	1.730	2.050
	10	988,0	8,890	0,0221	0,1450	1.810	2.850	3.720	1.490	2.480	3.260
120	10	1.200,0	10,700	0,0182	0,1377	2.110	3.280	4.270	1.740	2.860	3.740
160		1.600,0	14,200	0,0137	0,1268	2.700	4.130	5.360	2.220	3.590	4.680
200	10	2.000,0	17,800	0,0109	0,1184	3.290	4.970	6.430	2.690	4.310	5.610

Condições de instalação:

Temperatura da barra: 65°C

Temperatura ambiente: 35°C

Afastamento entre as barras paralelas: igual à espessura

Distâncias entre as barras: 7,5 cm

Posição das barras: vertical

Distâncias entre os centros de fases: > 0,80 vez o afastamento entre fases

3.7.4 Barramentos Retangulares de Alumínio

São aqueles empregados normalmente em painéis metálicos de baixa e média tensão, dimensionados de acordo com a corrente de carga, conforme Tabela 3.41 e os esforços eletrodinâmicos das correntes de curto-círcuito.

Se o barramento é pintado, as correntes nominais podem ser acrescidas de um fator de multiplicação $K = 1,2$. Neste caso, há maior dissipação de calor através da superfície das barras em função da cor, normalmente mais clara, da tinta de cobertura. A Tabela 3.41 fornece as capacidades de corrente para diferentes barras retangulares de alumínio sem pintura.

TABELA 3.39

Capacidade de corrente para barras redondas de cobre sem pintura

Diâmetro Externo mm	Seção mm ²	Peso kg/m	Resistência mΩ/m	Reatância mΩ/m	Capacidade de Corrente Permanente	
					Barra Pintada A	Barra Nua A
						A
5	19,6	0,175	0,1146	0,2928	95	85
8	50,3	0,447	0,4343	0,2572	179	159
10	78,5	0,699	0,2893	0,2405	243	213
16	201,0	1,79	0,1086	0,2050	464	401
20	314,0	2,80	0,0695	0,1882	629	539
32	804,0	7,16	0,0271	0,1528	1.160	976
50	1.960,0	17,5	0,0111	0,1192	1.930	1.610

Condições de instalação:

Temperatura da barra: 65°C

Temperatura ambiente: 35°C

Distância entre os centros das barras: 7,5 cm

Distâncias entre os centros de fases: igual ou superior a 2,5 vezes o diâmetro externo

TABELA 3.40

Capacidade de corrente para barras tubulares de cobre sem pintura

Diâmetro Externo mm	Espessura da Parede mm	Seção mm ²	Peso kg/m	Resistência mΩ/m	Reatância mΩ/m	Capacidade de Corrente Permanente	
						Barra Pintada A	Barra Nua A
							A
20	2	113	1,01	0,1933	0,2267	384	329
	3	160	1,43	0,1365	0,2136	457	392
	4	201	1,79	0,1086	0,2050	512	438
	5	236	2,10	0,9257	0,1990	554	475
	6	264	2,35	0,0827	0,1947	591	506
	2	188	1,68	0,1162	0,2075	602	508
32	3	273	2,44	0,0800	0,1935	725	611
	4	352	3,14	0,0620	0,1839	821	693
	5	424	3,78	0,0515	0,1769	900	760
	6	490	4,37	0,0455	0,1714	973	821
	2	239	2,13	0,0914	0,1985	744	624
40	3	349	3,11	0,0625	0,1842	899	753
	4	452	4,04	0,0483	0,1745	1.020	857
	5	550	4,90	0,0397	0,1671	1.130	944
	6	641	5,72	0,0340	0,1613	1.220	1.020
	3	443	3,95	0,0493	0,1752	1.120	928
50	4	578	5,16	0,0377	0,1652	1.270	1.060
	5	707	6,31	0,0309	0,1576	1.410	1.170
	6	829	7,40	0,0263	0,1516	1.530	1.270
	8	1.060	9,42	0,0206	0,1423	1.700	1.420

(continua)

TABELA 3.40Capacidade de corrente para barras tubulares de cobre (*continuação*)

Diâmetro Externo mm	Espessura da Parede mm	Seção mm ²	Peso kg/m	Resistência mΩ/m	Reatância mΩ/m	Capacidade de Corrente Permanente	
						Barra Pintada	
						A	A
63	3	565	5,04	0,0386	0,1661	1.390	1.150
	4	741	6,61	0,0294	0,1558	1.590	1.320
	5	911	8,13	0,0239	0,1480	1.760	1.460
	6	1.070	9,58	0,0204	0,1420	1.920	1.590
	8	1.380	12,30	0,0158	0,1324	2.150	1.780
80	3	726	6,47	0,0300	0,1566	1.750	1.440
	4	955	8,52	0,0280	0,1463	2.010	1.650
	5	1.180	10,50	0,0185	0,1383	2.230	1.820
	6	1.400	12,40	0,0156	0,1318	2.430	1.990
	8	1.810	16,10	0,0120	0,1222	2.730	2.240
100	3	914	8,15	0,0239	0,1479	2.170	1.770
	4	1.210	10,80	0,0180	0,1373	2.490	2.030
	5	1.490	13,30	0,0146	0,1295	2.760	2.250
	6	1.770	15,80	0,0123	0,1230	3.020	2.460
	8	2.310	20,60	0,0094	0,1130	3.410	2.780
120	4	1.460	13,00	0,0149	0,1303	2.970	2.400
	5	1.810	16,10	0,0120	0,1222	3.300	2.670
	6	2.150	19,20	0,0101	0,1157	3.610	2.930
	8	2.820	25,10	0,0077	0,1054	4.070	3.300
	10	3.460	30,80	0,0063	0,0977	4.400	3.560
160	4	1.960	17,50	0,0011	0,1192	3.910	3.510
	5	2.440	21,70	0,0089	0,1109	4.350	3.500
	6	2.900	25,90	0,0075	0,1044	4.770	3.840
	8	3.820	34,10	0,0057	0,0940	5.400	4.340
	10	4.710	42,00	0,0046	0,0861	5.830	4.690
200	5	3.060	27,30	0,0071	0,1024	5.440	4.350
	6	3.660	32,60	0,0059	0,0956	5.920	4.730
	8	4.830	43,00	0,0045	0,0852	6.700	5.360
	10	5.970	53,20	0,0036	0,0772	7.250	5.800
	12	7.090	63,20	0,0030	0,0707	7.610	6.080
250	5	3.850	34,30	0,0056	0,0937	6.740	5.360
	6	4.600	41,00	0,0047	0,0870	7.350	5.830
	8	6.080	54,30	0,0035	0,0765	8.330	6.610
	10	7.540	67,30	0,0028	0,0684	9.010	7.160
	12	8.970	80,00	0,0024	0,0618	9.470	7.520

Condições de instalação:

Temperatura da barra: 65°C

Temperatura ambiente: 35°C

Distâncias entre as barras: 7,5 cm

Distâncias entre os centros de fases: igual ou superior a 2,5 vezes o diâmetro externo

TABELA 3.41

Capacidade de corrente para barras retangulares de alumínio sem pintura

Largura mm	Espessura mm	Seção mm ²	Peso kg/m	Resistência mΩ/m	Reatância mΩ/m	Capacidade de Corrente Permanente (A)					
						Barra Pintada			Barra Nua		
						Número de Barras por Fase					
						1	2	3	1	2	3
12	2	23,5	0,0633	1,4777	0,2859	97	160	178	84	142	168
	3	29,5	0,0795	1,1771	0,2774	118	190	204	100	166	193
15	2	44,5	0,1200	0,7803	0,2619	148	252	300	126	222	283
	3	59,5	0,1610	0,5836	0,2509	188	312	357	159	272	337
20	5	99,1	0,2680	0,3504	0,2317	254	446	570	214	392	537
	10	199,0	0,5380	0,1745	0,2054	393	730	1.060	331	643	942
25	3	74,5	0,2010	0,4661	0,2424	228	372	412	190	322	390
	5	124,0	0,3350	0,2800	0,2232	305	526	656	255	460	619
30	3	89,5	0,2420	0,3880	0,2355	267	432	465	222	372	441
	5	149,0	0,4030	0,2331	0,2163	356	606	739	295	526	699
35	10	299,0	0,8080	0,1161	0,1900	536	956	1.340	445	832	1.200
	3	119,0	0,3230	0,2918	0,2248	346	550	569	285	470	540
40	5	199,0	0,5380	0,1745	0,2054	456	762	898	376	658	851
	10	399,0	1,0800	0,0870	0,1792	677	1.180	1.650	557	1.030	1.460
50	5	249,0	0,6730	0,1395	0,1969	566	916	1.050	455	786	995
	10	499,0	1,3500	0,0696	0,1707	815	1.400	1.940	667	1.210	1.710
60	5	299,0	0,8080	0,1161	0,1900	655	1.070	1.190	533	910	1.130
	10	599,0	1,6200	0,0580	0,1639	951	1.610	2.200	774	1.390	1.940
80	5	399,0	1,0800	0,0870	0,1792	851	1.360	1.460	688	1.150	1.400
	10	799,0	2,1600	0,0435	0,1530	1.220	2.000	2.660	983	1.720	2.380
100	5	499,0	1,3500	0,0696	0,1707	1.050	1.650	1.730	846	1.390	1.660
	10	999,0	2,7000	0,0348	0,1446	1.480	2.390	3.110	1.190	2.050	2.790
120	15	1.500,0	4,0400	0,0232	0,1292	1.800	2.910	3.730	1.450	2.500	3.220
	10	1.200,0	3,2400	0,0289	0,1377	1.730	2.750	3.540	1.390	2.360	3.200
160	15	1.800,0	4,8600	0,0193	0,1224	2.090	3.320	4.240	1.680	2.850	3.650
	10	1.600,0	4,3200	0,0217	0,1268	2.220	3.470	4.390	1.780	2.960	4.000
200	15	2.400,0	6,4700	1,0145	0,1115	2.670	4.140	5.230	2.130	3.540	4.510
	10	2.000,0	5,4000	2,0174	0,1184	2.710	4.180	5.230	2.160	3.560	4.790
	15	3.000,0	8,0900	0,0116	0,1031	3.230	4.950	6.240	2.580	4.230	5.370

Condições de instalação:

Temperatura da barra: 65°C

Temperatura ambiente: 35°C

Distância entre as barras paralelas: igual à espessura

Distância entre os centros das barras: 7,5 cm

Posição das barras: vertical

Distâncias entre os centros de fases: > 0,80 vez o afastamento entre fases

115 Barramentos Tubulares de Alumínio

São constituídos de tubos de alumínio de diferentes seções circulares, empregados normalmente em subestações de média e alta tensões, cujas capacidades de corrente são dadas na Tabela 3.42.

TABELA 3.42

Capacidade de corrente para barras tubulares de alumínio sem pintura

Diâmetro Externo	Espessura da Parede	Seção	Peso	Resistência	Reatância	Capacidade de Corrente Permanente			
						Barra pintada	Barra Nua	Barra Pintada	Barra Nua
						Uso Interno		Uso Externo	
mm	mm	mm ²	kg/m	mΩ/m	mΩ/m	A	A	A	A
20	2	110	0,3050	0,3157	0,2277	305	257	365	354
	3	160	0,4330	0,2170	0,2136	363	305	435	421
	4	201	0,5440	0,1728	0,2050	407	342	487	472
	5	236	0,6360	0,1471	0,1990	440	370	527	511
	6	264	0,7130	0,1315	0,1947	465	392	558	540
32	2	188	0,5090	0,1847	0,2075	478	395	539	519
	3	273	0,7390	0,1272	0,1935	575	476	649	624
	4	352	0,9500	0,0987	0,1839	653	539	737	708
	5	424	1,1500	0,0819	0,1769	716	592	808	777
	6	490	1,3200	0,0709	0,1714	769	636	868	835
40	2	239	0,6450	0,1453	0,1985	591	485	648	621
	3	349	0,0420	0,0995	0,1842	714	595	783	750
	4	452	1,2200	0,0768	0,1745	813	667	892	854
	5	550	1,4800	0,0631	0,1671	896	734	982	941
	6	641	1,7300	0,0542	0,1613	966	792	1.060	1.020
50	3	443	1,2000	0,0784	0,1752	886	720	944	900
	4	578	1,5600	0,0601	0,1652	1.010	882	1.080	1.030
	5	707	1,9100	0,0491	0,1576	1.120	909	1.190	1.140
	6	829	2,2400	0,0419	0,1516	1.210	983	1.290	1.230
	8	1.060	2,8500	0,0328	0,1423	1.370	1.110	1.460	1.390
	10	1.260	3,3900	0,0276	0,1358	1.490	1.210	1.580	1.510
63	3	565	1,5300	0,0615	0,1661	1.110	892	1.140	1.090
	4	741	2,0000	0,0469	0,1558	1.270	1.020	1.310	1.240
	5	911	2,4600	0,0381	0,1480	1.400	1.130	1.450	1.380
	6	1.070	2,9000	0,0325	0,1420	1.520	1.230	1.570	1.490
	8	1.380	3,7300	0,0252	0,1324	1.730	1.390	1.790	1.700
80	3	726	1,9600	0,0478	0,1566	1.390	1.110	1.400	1.320
	4	955	2,5800	0,0364	0,1463	1.600	1.280	1.600	1.510
	5	1.180	3,1800	0,0294	0,1383	1.770	1.420	1.780	1.680
	6	1.400	3,7700	0,0248	0,1318	1.920	1.540	1.930	1.820
	8	1.810	4,8900	0,0192	0,1222	2.200	1.760	2.200	2.080
	10	2.200	5,9400	0,0158	0,1148	2.410	1.920	2.420	2.280
100	3	914	2,4700	0,0380	0,1479	1.720	1.370	1.680	1.580
	4	1.210	3,2600	0,0287	0,1373	1.980	1.570	1.930	1.820
	5	1.490	4,0300	0,0233	0,1295	2.200	1.750	2.150	2.020
	6	1.770	4,7800	0,0196	0,1230	2.390	1.900	2.340	2.200
	8	2.310	6,2400	0,0150	0,1130	2.740	2.170	2.670	2.510

TABELA 3.42

Capacidade de corrente para barra tubulares de alumínio (*continuação*)

Diâmetro Externo mm	Espessura da Parede mm	Seção mm ²	Peso kg/m	Resistência mΩ/m	Reatância mΩ/m	Capacidade de Corrente Permanente			
						Barra Pintada	Barra Nua	Barra Pintada	Barra Nua
						Uso Interno		Uso Externo	
mm	mm	mm ²	kg/m	mΩ/m	mΩ/m	A	A	A	A
120	4	1.460	3,9400	238	0,1303	2.360	1.860	2.250	2.100
	5	1.810	4,8800	0,0192	0,1222	2.620	2.070	2.500	2.340
	6	2.150	5,8000	0,0162	0,1157	2.860	2.250	2.730	2.550
	8	2.820	7,6000	0,0123	0,1054	3.270	2.580	3.120	2.920
	10	3.460	9,3300	0,0100	0,0977	3.590	2.830	3.420	3.200
160	4	1.960	5,2900	0,0177	0,1192	3.110	2.430	2.910	2.710
	5	2.440	6,5700	0,0142	0,1109	3.460	2.710	3.240	3.010
	6	2.900	7,8400	0,0120	0,1044	3.780	2.950	3.530	3.290
	8	3.820	10,3000	0,0091	0,0940	4.340	3.390	4.060	3.780
	10	4.710	12,7000	0,0074	0,0861	4.760	3.720	4.460	4.140
200	5	3.060	8,2700	0,0113	0,1024	4.290	3.330	3.960	3.670
	6	3.660	9,8700	0,0095	0,0956	4.690	3.640	4.320	4.000
	8	4.830	13,0000	0,0072	0,0852	5.390	4.180	4.970	4.600
	10	5.970	16,1000	0,0058	0,0772	5.920	4.600	5.460	5.060
	12	7.090	19,1000	0,0049	0,0707	6.330	4.910	5.830	5.400
260	5	3.850	10,4000	0,0090	0,0937	5.330	4.100	4.840	4.460
	6	4.600	12,4000	0,0075	0,0870	5.810	4.480	5.280	4.870
	8	6.080	16,4000	0,0057	0,0765	6.690	5.160	6.080	5.610
	10	7.540	20,4000	0,0046	0,0684	7.360	5.680	6.690	6.170
	12	8.970	24,200	0,0039	0,0618	7.870	6.070	7.150	6.600

Condições de instalação:

Temperatura da barra: 65°C

Temperatura ambiente: 35°C

Distância entre as barras: 10 cm

Distância entre os centros de fases: igual ou superior a 2,5 vezes o diâmetro externo

11.6 Barramentos Pré-fabricados ou Dutos de Barra

São fabricados em cobre ou alumínio, sendo as barras suportadas por isoladores apropriados e contidos em um invólucro, geralmente fabricado de material isolante rígido.

Os dutos de barra, muitas vezes chamados de *busway*, são fabricados em tamanhos padronizados e possuem vários acessórios complementares, tais como curvas, ângulos, emendas, todos também modulares.

São muitas as variedades de construção, sendo que os condutores podem ser constituídos de barras retangulares, cilíndricas ocas ou maciças. Também os condutores podem ser recobertos de uma fina camada de prata em toda a sua extensão ou somente nos pontos de conexão.

Os dutos de barra podem ser ventilados ou não, dependendo do local de sua utilização. Somente devem ser empregados em instalações aparentes.

Os dutos de barra têm emprego, em geral, na ligação entre o Quadro de Distribuição Geral e os Quadros de Distribuição de Circuitos Terminais. Os dutos de barra têm a vantagem de apresentar uma baixa impedância e, consequentemente, uma baixa queda de tensão.

Devido ao seu custo elevado em relação aos condutores/condutitos, somente devem ser aplicados em circuitos com elevada corrente de carga, quando esta relação de custo torna-se atraente economicamente.

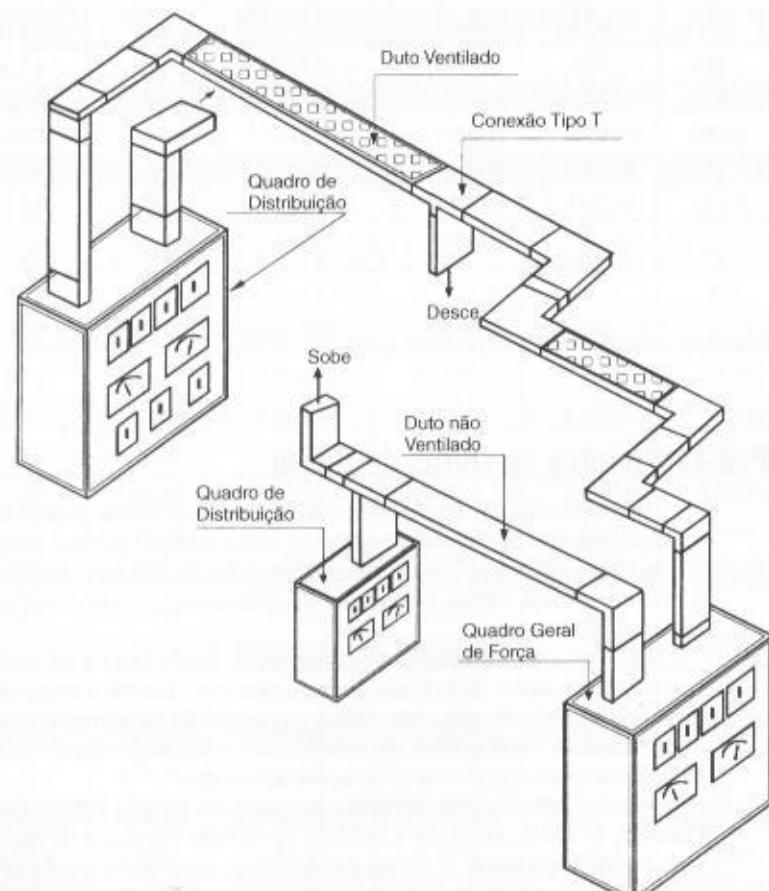
A Figura 3.29 mostra a aplicação prática de um duto de barras. Já a Tabela 3.43 fornece os valores de capacidade de corrente nominais para barramentos pré-fabricados ou *busway*.

TABELA 3.43

Capacidade de corrente para barramentos blindados de cobre

Número de Barras por Fase	Seção da Barra (mm ²)		Capacidade de Corrente (A)	Resistência mΩ/m	Reatância mΩ/m
	Fase	Neutro			
1	10 × 40	10 × 40	750	0,0446	0,1930
	10 × 60	10 × 40	1.000	0,0297	0,1700
	10 × 80	10 × 40	1.250	0,0223	0,1680
	10 × 100	10 × 60	1.550	0,0178	0,1530
	10 × 120	10 × 60	1.800	0,0148	0,1410
2	10 × 60	10 × 60	1.650	0,0148	0,1580
	10 × 80	10 × 80	2.000	0,0111	0,1460
	10 × 100	10 × 100	2.400	0,0089	0,1350
	10 × 120	10 × 120	2.800	0,0074	0,1230

(1) Para espaçamento entre barras maiores do que 2D na horizontal, não é necessário aplicar os fatores de redução, visto que o aquecimento mútuo é desprezível; (2) os valores de resistência e reatância são aproximados; (3) o grau de proteção do barramento é IP31 (uso interno); (4) a distância entre as barras é de 200 mm.

**FIGURA 3.29**

Exemplo de aplicação de dutos de barras

3.8 DIMENSIONAMENTOS DE CONDUTOS

Condutos é o nome genérico que se dá aos elementos utilizados para a instalação dos condutores elétricos.

A aplicação e o dimensionamento dos condutos merecem uma grande atenção por parte do instalador. De forma geral, alguns princípios básicos devem ser seguidos:

- a) Nos condutos fechados todos os condutores vivos (fase e neutro) pertencentes a um mesmo circuito devem ser agrupados num mesmo conduto (eletroduto, calha, bandeja etc).
- b) Não se deve instalar cada fase de um mesmo circuito em diferentes eletrodutos de ferro galvanizado (dutos magnéticos). Caso contrário, devido à intensa magnetização resultante, cujo valor é diretamente proporcional à corrente de carga do cabo, os eletrodutos sofrerão um elevado aquecimento, devido ao efeito magnético, que poderá danificar a isolação dos condutores.
- c) Os condutos fechados somente devem conter mais de um circuito nas seguintes condições simultaneamente atendidas:
 - todos os circuitos devem se originar de um mesmo dispositivo geral de manobra e proteção;
 - as seções dos condutores devem estar dentro de um intervalo de três valores normalizados sucessivos; como exemplo, pode-se citar o caso de cabos cujos circuitos podem ser agrupados num mesmo eletroduto: 16, 25 e 35 mm²;
 - os condutores isolados ou cabos isolados devem ter a mesma temperatura máxima para serviço contínuo;
 - todos os condutores forem isolados para a mais alta tensão nominal presente no conduto.

3.8.1 Eletrodutos

São utilizados eletrodutos de PVC ou de ferro galvanizado. Os primeiros são, em geral, embutidos em paredes, pisos ou tetos. Os segundos são geralmente utilizados em instalações aparentes, ou embutidos, quando se necessita de uma proteção mecânica adequada para o circuito.

Os eletrodutos de ferro galvanizado não devem possuir costura longitudinal e suas paredes internas devem ser perfeitamente lisas, livres de quaisquer pontos resultantes de uma galvanização imperfeita. Também cuidados devem ser tomados quanto às luvas e curvas. Quaisquer saliências podem danificar a isolação dos condutores.

A utilização de eletrodutos deve seguir os seguintes critérios:

- a) Dentro de eletrodutos só devem ser instalados condutores isolados, cabos unipolares ou cabos multipolares, admitindo-se a utilização de condutor nu em eletroduto isolante exclusivo, quando tal condutor destinar-se a aterramento.
- b) O diâmetro externo do eletroduto deve ser igual ou superior a 16 mm.
- c) Em instalações internas onde não haja trânsito de veículos pesados, os eletrodutos de PVC devem ser enterrados a uma profundidade não inferior a 0,25 m.
- d) Em instalações externas sujeitas a tráfego de veículos leves, os eletrodutos de PVC devem ser enterrados a uma profundidade não inferior a 0,45 m. Para profundidades inferiores, é necessário envelopar o eletroduto em concreto.
- e) Em instalações externas sujeitas a trânsito de veículos pesados, os eletrodutos de PVC devem ser enterrados a uma profundidade não inferior a 0,45 m, protegidos por placa de concreto ou envelopados. Costuma-se, nestes casos, utilizar eletrodutos de ferro galvanizado.
- f) Os eletrodutos aparentes devem ser firmemente fixados a uma distância máxima de acordo com as Tabelas 3.44 e 3.45.

TABELA 3.44

Distância máxima entre os elementos de fixação de eletrodutos rígidos metálicos

Tamanho do Eletroduto (in)	Distância Máxima entre Elementos de Fixação (m)
1/2 - 3/4	3,00
1	3,70
1 1/4 - 1 1/2	4,30
2 - 2 1/2	4,80
Maior ou igual a 3	6,00

TABELA 3.45

Distância máxima entre os elementos de fixação de eletrodutos rígidos isolantes

Diâmetro Nominal do Eletroduto (mm)	Distância Máxima entre Elementos de Fixação
16 - 32	0,90
40 - 60	1,50
75 - 85	1,80

- g) É vedado o uso, como eletroduto, de produtos que não sejam expressamente apresentados comercialmente como tal.
- h) Somente devem ser utilizados eletrodutos não-propagantes de chama.
- i) Nos eletrodutos só devem ser instalados condutores isolados, cabos unipolares ou cabos multipolares, admitindo-se a utilização de condutor nu em eletroduto isolante exclusivamente quando tal condutor se destina a aterramento.
- j) A taxa máxima de ocupação em relação à área da seção transversal dos eletrodutos não deve ser superior a:
 - 53% no caso de um único condutor ou cabo;
 - 31% no caso de dois condutores ou cabos;
 - 40% no caso de três ou mais condutores ou cabos;
- k) O diâmetro externo dos eletrodutos deve ser igual ou superior a 16 mm.
- l) Não deve haver trechos contínuos (sem interposição de caixas de derivação ou aparelhos) retilíneos de tubulação maiores do que 15 m para linhas internas e de 30 m para áreas externas às edificações.
- m) Nos trechos com curvas, os espaçamentos anteriores devem ser reduzidos de 3 m para cada curva de 90°.
- n) Quando o ramal de eletrodutos passar obrigatoriamente através de áreas inacessíveis, impedindo o emprego de caixas de derivação, esta distância pode ser aumentada desde que se proceda da seguinte forma:
 - para cada 6 m, ou fração, de aumento dessa distância, utiliza-se um eletroduto de diâmetro nominal imediatamente superior ao do eletroduto que normalmente seria empregado para o número e tipo de condutores.
 - em cada trecho de tubulação — entre duas caixas, entre extremidades ou entre extremidade e caixa — podem ser previstas, no máximo, três curvas de 90° ou seu equivalente até no máximo 270°. Em nenhum caso devem ser previstas curvas com deflexão maior do que 90°;
- o) Em cada trecho de tubulação delimitado, de um lado e de outro, por caixa ou extremidade de linha, qualquer que seja essa combinação (caixa-extremidade ou extremidade-extremidade) podem ser instaladas no máximo três curvas de 90° ou seu equivalente até no máximo 270°; em nenhuma hipótese devem ser instaladas curvas com deflexão superior a 90°;
- p) Devem ser empregados caixas de derivação nos seguintes casos:
 - em todos os pontos de entrada e saída dos condutores da tubulação, exceto nos pontos de transição ou passagem de linhas abertas para linhas em eletrodutos, os quais, nestes casos, devem ser rematadas com buchas;
 - em todos os pontos de emenda ou derivação de condutores;
 - os condutores devem formar trechos contínuos entre as caixas de derivação, isto é, não deve haver emendas dos condutores no interior do eletroduto;
 - as emendas e derivações devem ficar no interior das caixas;
- q) A área da seção transversal interna dos eletrodutos ocupada pelos cabos deve estar de acordo com a Tabela 3.46.

TABELA 3.46

Área dos eletrodutos rígidos ocupáveis pelos cabos

Eletrodutos Rígidos de PVC, do Tipo Rosqueado (DAISA) – NBR 6150

Tamanho	Rosca	Dimensões do Eletroduto						Área Ocupável pelos Cabos			
		Diâmetro Externo	Espessura da Parede		Área Útil		2 cabos: 31%		> 3 cabos: 40%		
			Classe A	Classe B	Classe A	Classe B	Classe A	Classe B	Classe A	Classe B	
pol	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	
16	1/2	21,1 ± 0,3	2,50	1,80	196	232	60	71	79	93	
20	3/4	26,2 ± 0,3	2,60	2,30	336	356	104	110	135	143	
25	1	33,2 ± 0,3	3,20	2,70	551	593	170	183	221	238	
32	1 1/4	42,2 ± 0,3	3,60	2,90	945	1.023	282	317	378	410	
40	1 1/2	47,8 ± 0,4	4,00	3,00	1.219	1.346	377	417	488	539	
50	2	59,4 ± 0,4	4,60	3,10	1.947	2.189	603	678	779	876	
65	2 1/2	75,1 ± 0,4	5,50	3,80	3.186	3.536	987	1.096	1.275	1.415	
80	3	88 ± 0,4	6,20	4,00	4.441	4.976	1.396	1.542	1.777	1.990	
100	4	114,3 ± 0,4	—	5,00	—	8.478	—	2.628	—	3.391	

Eletrodutos Rígidos de Aço Carbono – NBR 5597

Tamanho	Rosca	Diâmetro Externo	Espessura da Parede		Área Útil		2 cabos: 31%		> 3 cabos: 40%	
			Extra	Pesada	Extra	Pesada	Extra	Pesada	Extra	Pesada
pol	mm	mm	mm	mm	mm ²					
10	3/8	17,1 ± 0,38	2,25	2,00	118	127	36	40	47	51
15	1/2	21,3 ± 0,38	2,65	2,25	192	212	60	65	77	85
20	3/4	26,7 ± 0,38	2,65	2,25	347	374	107	115	139	150
25	1	33,4 ± 0,38	3,00	2,65	573	604	177	187	230	242
32	1 1/4	42,2 ± 0,38	3,35	3,00	969	1.008	300	312	388	403
40	1 1/2	48,3 ± 0,38	3,35	3,00	1.334	1.380	413	427	534	552
50	2	60,3 ± 0,38	3,75	3,35	2.158	2.225	668	689	963	890
65	2 1/2	73,0 ± 0,64	4,50	3,75	3.153	3.304	977	1.024	1.261	1.321
80	3	88,9 ± 0,64	4,75	3,75	4.871	5.122	1.510	1.584	1.948	2.044
90	3 1/2	101,6 ± 0,64	5,00	4,25	6.498	6.714	2.014	2.081	2.600	2.686
100	4	114,3 ± 0,64	5,30	4,25	8.341	8.685	2.585	2.692	3.336	3.474
125	5	141,3 ± 1	6,00	5,00	12.608	13.334	3.908	4.133	5.043	5.333
150	6	168,3 ± 1	6,30	5,30	18.797	19.286	5.827	5.978	7.519	7.714

Os eletrodutos são conhecidos pelo seu diâmetro interno em polegadas. No entanto, a partir das normas ABNT e IEC os eletrodutos são designados por um número adimensional a que se denomina "tamanho".

r) A área útil ocupável pelos condutores pode ser determinada a partir da Equação (3.25).

$$S_t = \frac{\pi}{4} \times [(D_e - \Delta D_e) - 2 \times E_p]^2 \quad (3.25)$$

D_e – diâmetro externo do eletroduto, em mm;

ΔD_e – variação do diâmetro externo, em mm;

E_p – espessura da parede do eletroduto, em mm.

Todas as dimensões dos condutores anteriormente mencionadas estão contidas na Tabela 3.47.

TABELA 3.47

Características dimensionais dos cabos

Seção Nominal (mm²)	Condutor		Cabos Isolados		Cabos Unipolares	
	N.º de fios	Diâmetro Nominal (mm)	Espessura da Isolação (mm)	Diâmetro Externo (mm)	Espessura da Isolação (mm)	Diâmetro Externo (mm)
1,50	7	1,56	0,7	3,0	1,0	5,50
2,50	7	2,01	0,8	3,7	1,0	6,00
4	7	2,55	0,8	4,3	1,0	6,80
6	7	3,00	0,8	4,9	1,0	7,30
10	7	3,12	1,0	5,9	1,0	8,00
16	7	4,71	1,0	6,9	1,0	9,00
25	7	5,87	1,2	8,5	1,2	10,80
35	7	6,95	1,2	9,6	1,2	12,00
50	19	8,27	1,4	11,3	1,4	13,90
70	19	9,75	1,4	12,9	1,4	15,50
95	19	11,42	1,6	15,1	1,6	17,70
120	37	12,23	1,6	16,5	1,6	19,20
150	37	14,33	1,8	18,5	1,8	21,40
185	37	16,05	2,0	20,7	2,0	23,80
240	61	18,27	2,2	23,4	2,2	26,70
300	61	20,46	2,4	26,0	2,4	29,50
400	61	23,65	2,6	29,7	2,6	33,50
500	61	26,71	2,8	33,3	2,8	37,30
630	61	29,26	3,0	36,2	3,0	40,25

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.15)

Determinar a área útil compatível de um eletroduto de PVC rígido, tamanho 60, classe B.

$$S_t = \frac{\pi}{4} \times [(D_e - \Delta D_e) - 2 \times E_p]^2 = \frac{\pi}{4} [(59,4 - 0,4) - 2 \times 3,1]^2 = 2.189 \text{ mm}^2$$

$$D_e = 59,4 \text{ mm}$$

$$\Delta D_e = 0,4 \text{ mm}$$

$$E_p = 3,1 \text{ mm}$$

As dimensões das seções transversais dos condutores, tanto nus quanto cobertos com a isolação, são dadas na Tabela 3.47, tomadas em seus valores médios.

Portanto, para se determinar a área ocupada pelos condutores de um circuito típico e o consequente tamanho nominal do eletroduto, basta aplicar a Equação (3.26).

$$S_{cond} = \frac{N_{cf} \times \pi \times D_{cf}^2}{4} + \frac{N_{cn} \times \pi \times D_{cn}^2}{4} + \frac{N_{cp} \times \pi \times D_{cp}^2}{4} \quad (3.26)$$

S_{cond} – seção ocupada pelos condutores, em mm^2 ;

N_{cf} – número de condutores fase;

N_{cn} – número de condutores neutro;

N_{cp} – número de condutores de proteção;

D_{cf} – diâmetro externo dos condutores fase, em mm;

D_{cn} – diâmetro externo dos condutores neutro, em mm;

D_{cp} – diâmetro externo dos condutores de proteção, em mm.

Para maior facilidade de consulta, a Tabela 3.48 fornece diretamente a área ocupada pelos cabos PVC, XLPE e EPR.

TABELA 3.48

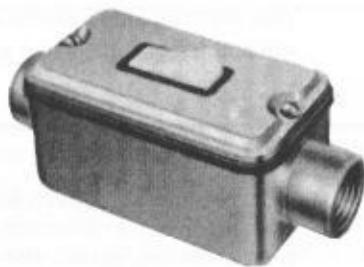
Área ocupada pelos cabos

Seção (mm ²)	Área Total (mm ²)			Seção (mm ²)	Área Total (mm ²)			
	PVC		XLPE ou EPR		PVC		XLPE ou EPR	
	Isolado	Unipolar			Isolado	Unipolar		
1,5	7,0	23,7	23,7	70	130,7	188,7	188,7	
2,5	10,7	28,2	28,2	95	179,7	246,0	246,0	
4	14,5	36,3	36,3	120	213,8	289,5	289,5	
6	18,8	41,8	41,8	150	268,8	359,6	359,6	
10	27,3	50,2	50,2	185	336,5	444,8	444,8	
16	37,4	63,6	63,6	240	430,0	559,9	559,9	
25	56,7	91,6	91,6	300	530,9	683,5	683,5	
35	72,3	113,1	113,1	400	692,8	881,4	881,4	
50	103,8	151,7	151,7	500	870,9	1.092,7	1.092,7	

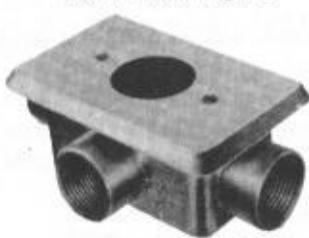
É prática comum a construção de pequenas, médias e grandes instalações industriais utilizando materiais de concreto pré-moldados. Após a construção do prédio, inicia-se o processo de execução das instalações de serviço (água, esgoto, luz etc.). Este procedimento visa a reduzir os custos de construção. Para tanto, é necessário que sejam utilizados materiais apropriados nos projetos das instalações de serviços. No caso das instalações elétricas, são utilizados os eletrodutos de ferro galvanizado associados a diferentes tipos de condutores, conforme mostrados na Figura 3.30 (a), (b), (c) e (d) e caixas de ligação e de passagem de acordo com a Figura 3.30 (e) e (f). As instalações tornam-se relativamente simples e de fácil manutenção, já que praticamente todas as



(a) Condutores tipo X



(b) Condutores tipo LB



(c) Condutores interruptor



(d) Condutores tomada



(e) Caixa de ligação



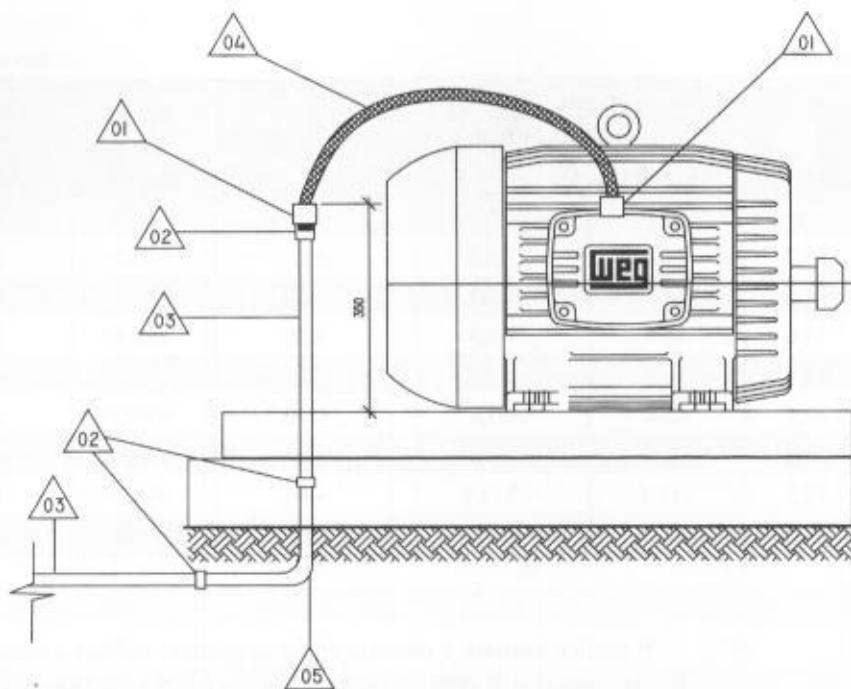
(f) Caixa de passagem

FIGURA 3.30

Acessórios metálicos para instalações exteriores com eletroduto

FIGURA 3.31

Instalação de eletroduto para alimentação de um motor



Simbologia: 1 – conector macho de alumínio para tubo flexível; 2 – luva de ferro galvanizado; 3 – eletroduto de ferro galvanizado; 4 – eletroduto metálico flexível; 5 – curva de PVC

tubulações e demais acessórios são fixados e montados nas paredes e no teto de forma aparente. Esta forma de instalação é por demais utilizada em unidades fabris dotadas de motores instalados em estruturas metálicas, tais como usina de álcool, refinarias e congêneres.

A ligação dos motores em instalações industriais com a utilização de eletrodutos enterrados no piso normalmente é executada de acordo com a Figura 3.31. Esse tipo de ligação é muito utilizado em ambientes onde não é apropriado o uso de canaletas devido à presença de líquidos no piso.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.16)

Determinar a área da seção transversal de um eletroduto de aço carbono, parede pesada, que contém um circuito trifásico a cinco condutores (3F + N + PE) de isolamento em PVC, classe B de seções transversais, respectivamente, iguais a 120 mm², 70 mm² e 70 mm².

$$S_{\text{cond}} = \frac{N_d \times \pi \times D_{d_f}^2}{4} + \frac{N_{cn} \times \pi \times D_{cn}^2}{4} + \frac{N_{cp} \times \pi \times D_{cp}^2}{4}$$

$$S_{\text{cond}} = \frac{3 \times \pi \times 16,5^2}{4} + \frac{1 \times \pi \times 12,9^2}{4} + \frac{1 \times \pi \times 12,9^2}{4} = 902,8 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{elec}} = 2 \text{ } 1/2'' \text{ (Tabela 3.46)}$$

$$N_d = 3$$

$$N_{cn} = 1$$

$$N_{cp} = 1$$

$$D_{d_f} = 16,5 \text{ mm (Tabela 3.47 - cabos com isolamento em PVC)}$$

$$D_{cn} = 12,9 \text{ mm (Tabela 3.47 - cabos com isolamento em PVC)}$$

$$D_{cp} = 12,9 \text{ mm (Tabela 3.47 - cabos com isolamento em PVC)}$$

Também, através da Tabela 3.48, pode-se obter o mesmo resultado com maior simplicidade.

$$S_{\text{elec}} = S_{120} + S_{70} + S_{70}$$

$$S_{\text{cond}} = 3 \times 213,8 + 130,7 + 130,7 = 902,8 \text{ mm}^2$$

Se considerar que o eletroduto tem o percurso dado na Figura 3.32, então o seu novo diâmetro será:

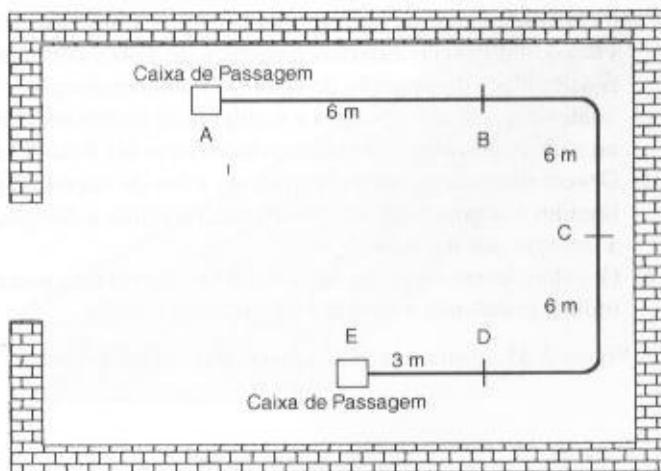
- Comprimento total do trecho

$$C_t = 3 \times 6 + 3 = 21 \text{ m}$$

- Distância máxima permitida considerando-se as duas curvas da Figura 3.32.

$$D_{\text{na}} = 15 - (3 \times 2) = 9 \text{ m}$$

FIGURA 3.32
Percorso de um eletroduto e curvas correspondentes



- Diferença entre o comprimento total do trecho e a distância máxima permitida:
 $D_{\text{max}} = C_t - D_{\text{máx}} = 21 - 9 = 12 \text{ m}$
- Fração de aumentos para cada 6 m

$$F = \frac{D_{\text{max}}}{6} = \frac{12}{6} = 2$$

- Diâmetro dos eletrodutos:
 A – B = 6 m → 65 (2 1/2")
 B – C = 6 m → 65 (2 1/2")
 C – D = 6 m → 80 (3")
 D – E = 3 m → 100 (4")

Logo, o eletroduto do trecho A – E nas aplicações práticas será de tamanho 100 mm (4")

18.2 Canaletas no Solo

Sua construção é feita normalmente ao nível do solo, têm paredes de tijolo revestidas de massa de alvenaria ou podem ser construídas de concreto.

Nas instalações em canaletas deve-se evitar a penetração de líquidos. Quando isso não for possível, os cabos devem ser instalados no interior de eletrodutos estanques. As canaletas, na maioria dos casos, são construídas em alvenaria. Neste caso, devem-se aproveitar as dimensões padronizadas do tijolo para construí-las, mesmo que isto resulte numa canaleta com seção superior ao mínimo calculado.

Os cabos instalados em canaletas, de preferência, devem ser dispostos em uma só camada. Os cabos também podem ser instalados em prateleiras dispostas em diferentes níveis da canaleta ou diretamente em suas paredes. Os cabos devem ocupar, no máximo, 30% da área útil da canaleta, ou seja, a seção transversal de uma canaleta onde estão instalados, por exemplo, 21 cabos unipolares de seção de 120 mm², diâmetro externo igual a 19,20 mm, Tabela 3.47, deve ser:

$$S_{\text{ca}} = \frac{21 \times \pi \times 19,20^2}{4} \times \frac{1}{0,30} = 20.267 \text{ mm}^2$$

A canaleta no solo deve ter no mínimo as dimensões de 200 × 105 mm, ou seja: 21.000 mm².

São de larga utilização em indústria com grande número de máquinas dispostas regularmente e cujo ponto de alimentação seja relativamente próximo ao piso. Sua utilização deve satisfazer aos seguintes princípios:

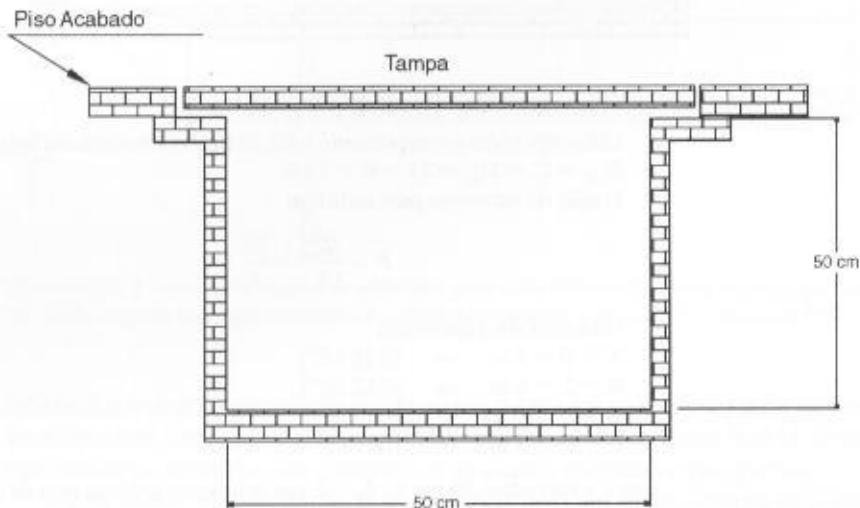
- a) Nas canaletas no solo só devem ser utilizados cabos unipolares ou cabos multipolares. Os condutores isolados podem ser utilizados desde que contidos em eletrodutos.
- b) Não é conveniente a utilização de canaletas no solo em locais em que haja a possibilidade da presença de água ou de outros líquidos no piso, como no caso de curtumes, setor de lavagem

- e engarrafamento de indústria de cerveja e congêneres. São classificadas sob o ponto de vista de influências externas (presença de água), conforme código AD4, característico à possibilidade de projeção de água em qualquer direção.
- Somente os cabos unipolares e multipolares podem ser instalados diretamente nas canaletas no solo. A utilização de cabos isolados deve ser feita dentro de eletrodutos.
 - Devem-se tomar medidas preventivas a fim de impedir a penetração de corpos estranhos líquidos que possam, respectivamente, dificultar a dissipação de calor dos cabos e danificar a isolação dos mesmos.
 - Os cabos devem, de preferência, ser dispostos em uma única camada, podendo-se, no entanto, utilizar prateleiras instaladas em diferentes níveis.

A Figura 3.33 mostra a seção transversal de uma canaleta no solo.

FIGURA 3.33

Corte transversal de canaleta no solo



3.8.3 Canaletas e Perfilados

São assim consideradas as canaletas constituídas de materiais sintéticos ou metálicos. A sua utilização requer o conhecimento de alguns princípios básicos. A NBR 5410/2004 estabelece que

- Nas canaletas instaladas sobre paredes, em tetos ou suspensas e nos perfilados, podem ser instalados condutores isolados, cabos unipolares e cabos multipolares.
- Os condutores isolados só podem ser utilizados em canaletas ou perfilados de paredes não perfuradas e com tampas que só possam ser removidas com auxílio de ferramenta.
- Admite-se o uso de condutores isolados em canaletas ou perfilados sem tampa ou com tampas desmontadas sem auxílio de ferramenta, ou canaletas ou perfilados com paredes perfuradas com ou sem tampa desde que estes condutos sejam instalados em locais acessíveis a pessoas advertidas ou qualificadas ou, ainda, sejam instalados a uma altura mínima de 2,50 m.

A Figura 3.34 mostra uma canaleta de material sintético, enquanto a Figura 3.35 mostra um perfilado metálico muito utilizado em projetos de iluminação interna de galpões industriais.

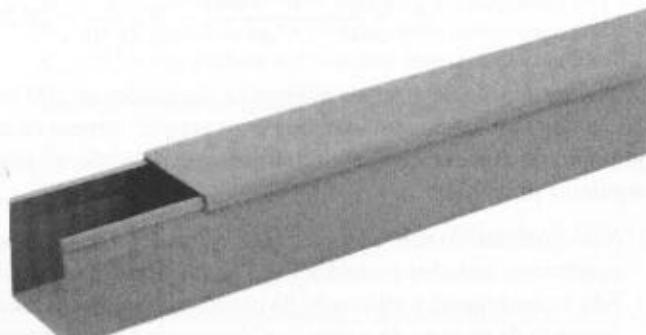
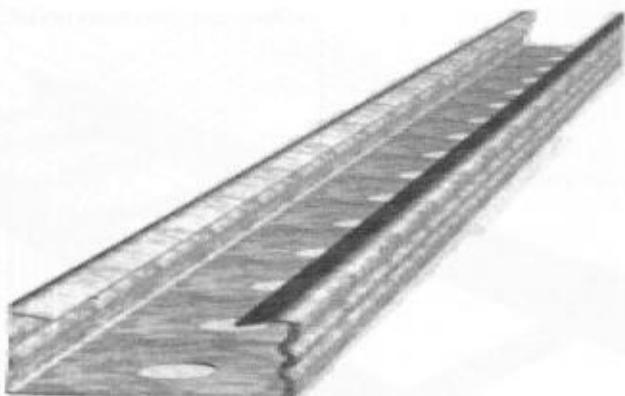


FIGURA 3.34

Canaleta de material sintético

FIGURA 3.35
Perfilado metálico



3.8.4 Bandejas, Leitos e Prateleiras

Há no mercado uma grande variedade construtiva de bandejas, leitos e prateleiras.

As bandejas, também conhecidas como eletrocalhas, são muito utilizadas em instalações industriais e comerciais onde há necessidade de reunir uma grande quantidade de cabos num determinado trajeto. São de fácil aplicação e muito flexíveis quanto à expansão do sistema elétrico. As Figuras 3.36 a 3.39 mostram diferentes tipos de eletrocalhas. Já as Figuras 3.40, 3.41 e 3.42 mostram várias aplicações de eletrocalhas.

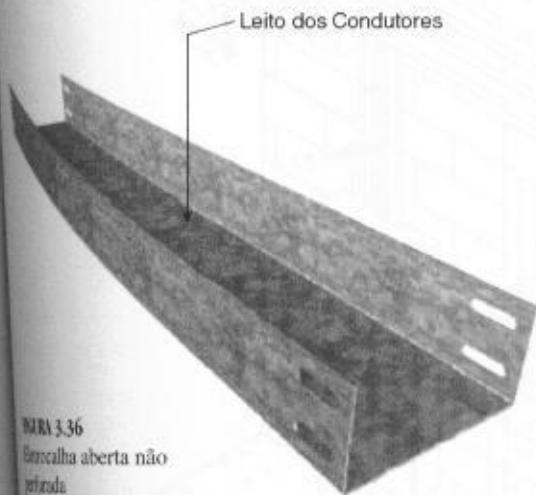


FIGURA 3.36
Eletrocalha aberta não perfurada

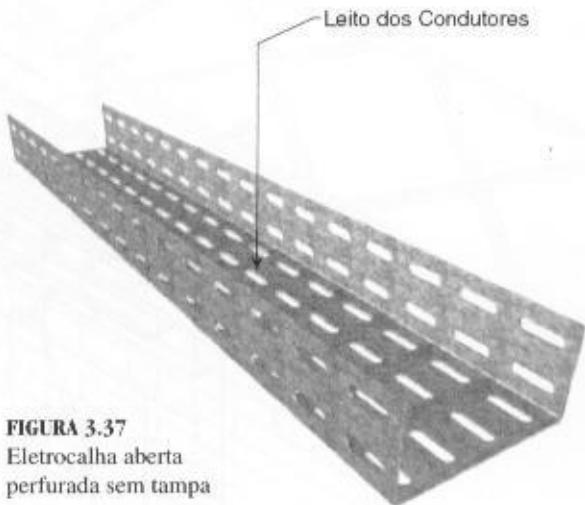


FIGURA 3.37
Eletrocalha aberta perfurada sem tampa

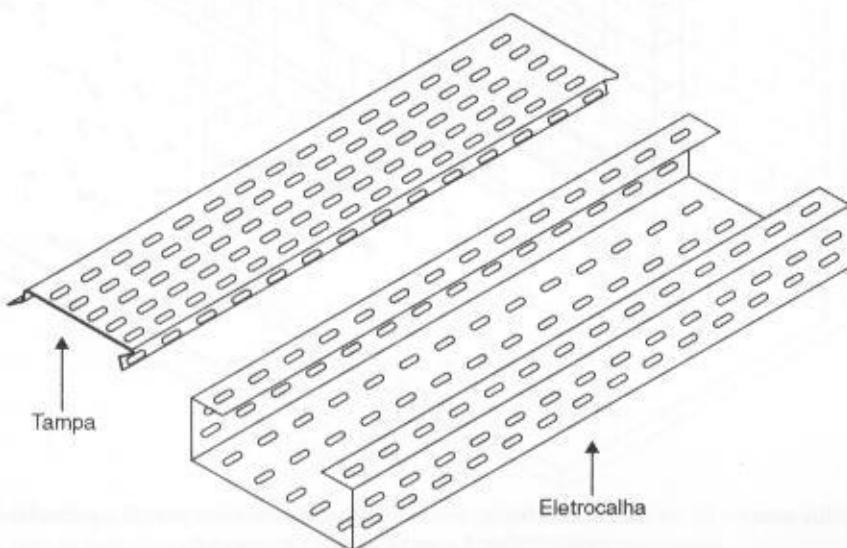
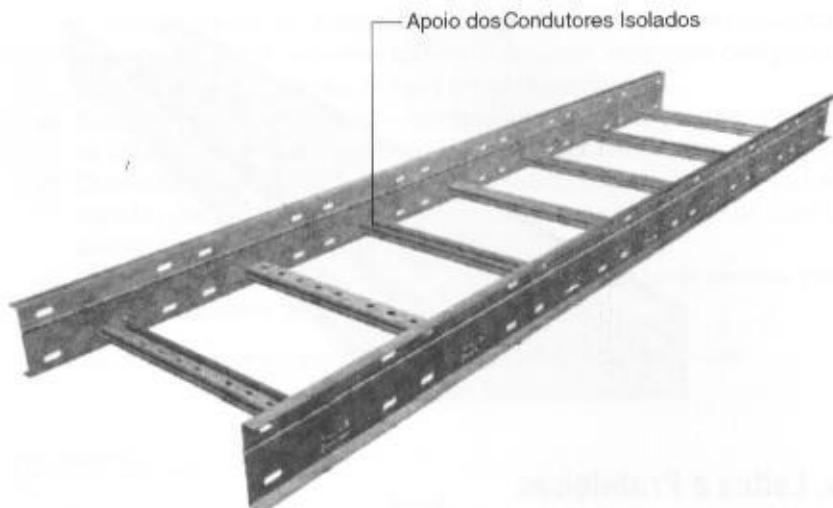
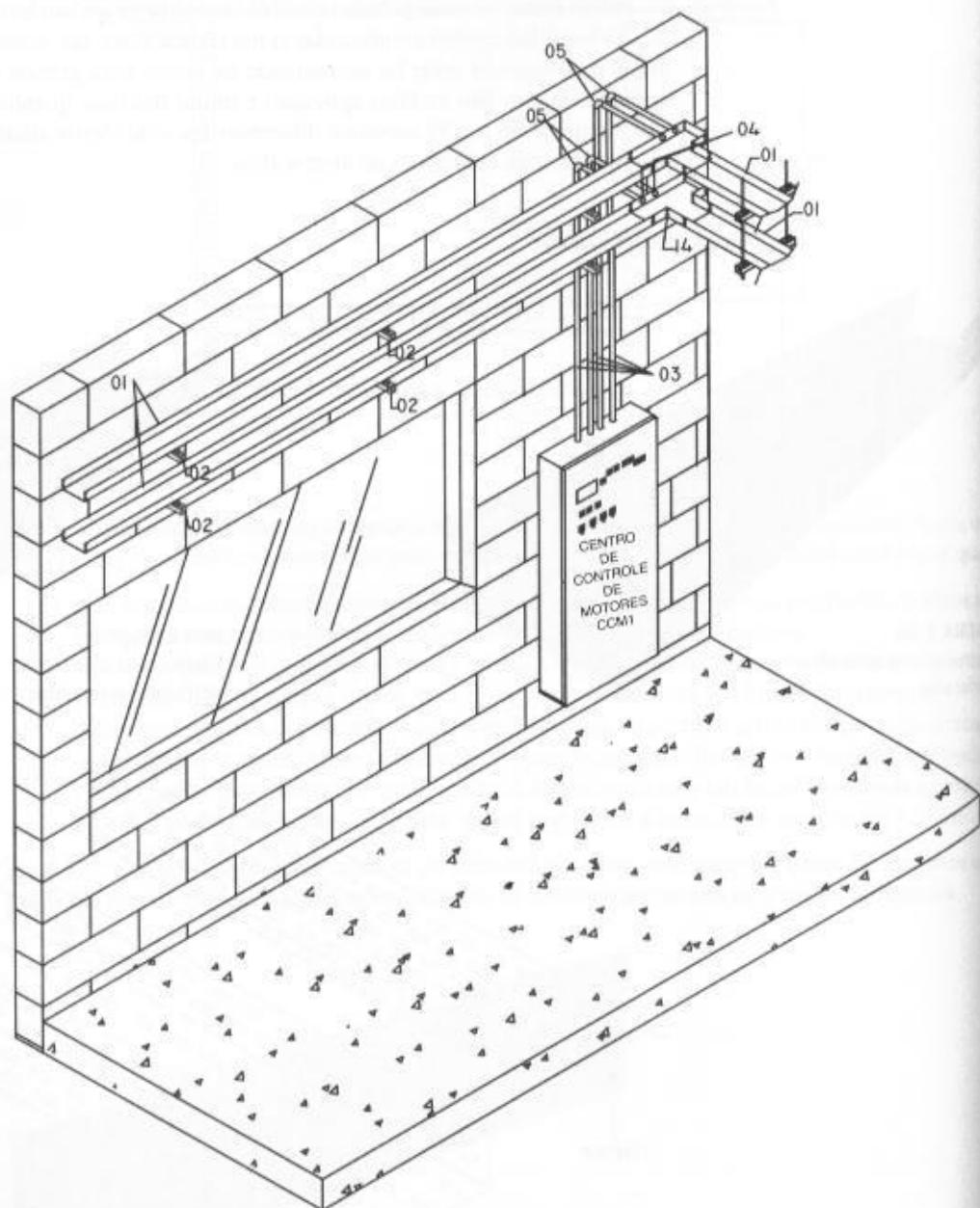


FIGURA 3.38
Eletrocalha ventilada com tampa

**FIGURA 3.39**

Leito (ou escada) para cabos

**FIGURA 3.40**

Instalação de eletrocalha com CCM

Simbologia: 1 – eletrocalha; 2 – mão-francesa; 3 – eletroduto; 4 – junção da eletrocalha; 5 – curva de ferro galvanizado

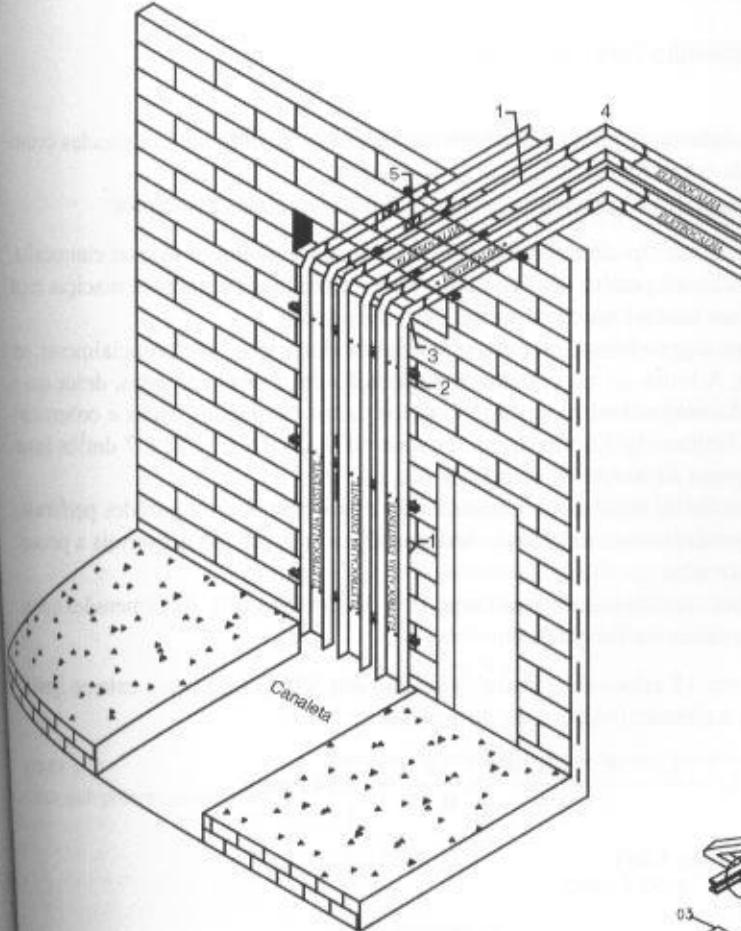
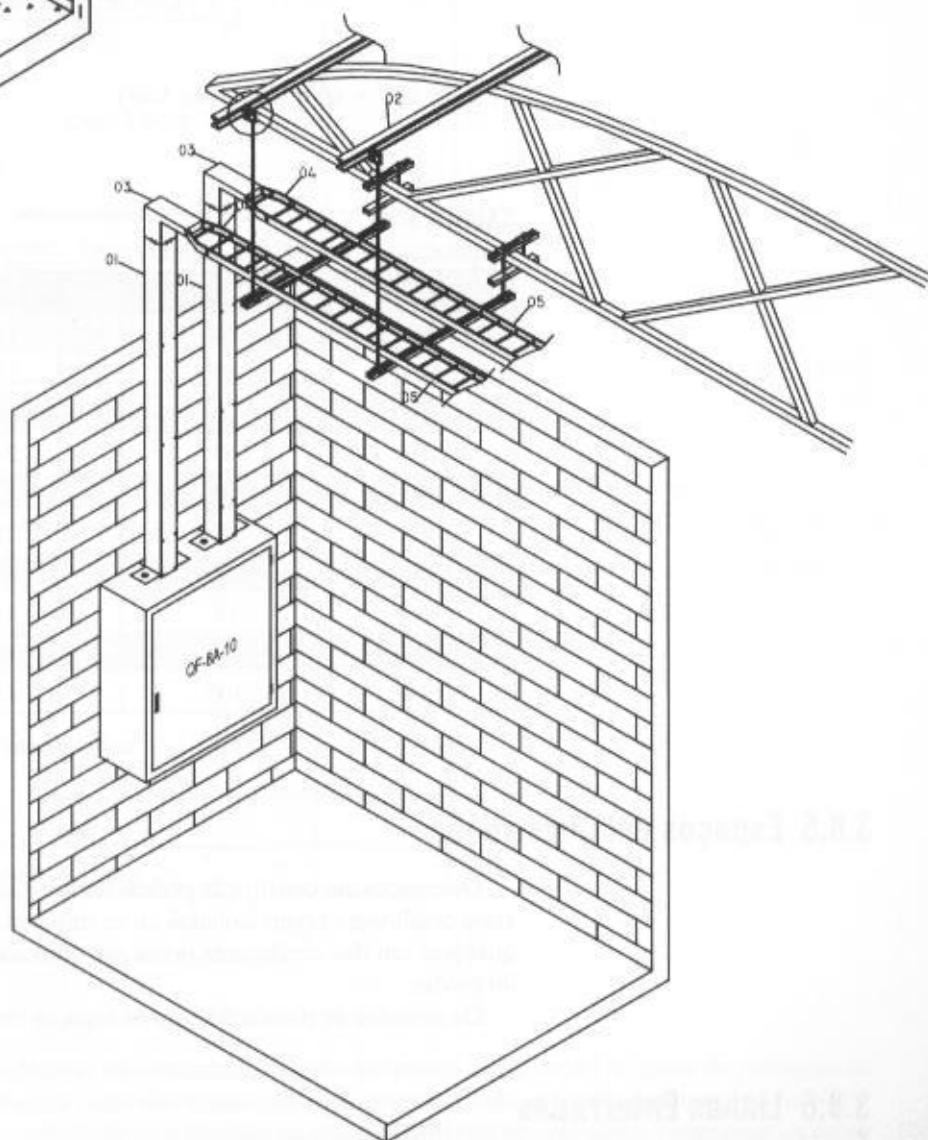


FIGURA 3.41
Instalação de eletrocalhas e canaletas no solo

Simbologia: 1 – eletrocalha; 2 – perfilado; 3 – curva vertical externa para eletrocalha; 4 – curva interna para eletrocalha; 5 – junção simples



Simbologia: 01 – Eletrocalha lisa dobrada com tampa; 02 – perfilado; 03 – curva vertical externa com tampa; 04 – redução para leito; 05 – leito para cabos

Normalmente, são modulares, constituídas de várias peças que podem ser encaixadas constituindo uma grande rede de condutos.

A aplicação de bandejas leitos e prateleiras devem seguir os seguintes princípios.

- Os cabos unipolares e multipolares podem ser instalados em qualquer tipo de eletrocalha.
- Os condutores isolados só podem ser instalados em eletrocalhas de paredes maciças cujas tampas só possam ser removidas com auxílio de ferramentas.
- Nas bandejas, leitos e prateleiras, os cabos devem ser dispostos, preferencialmente, em uma única camada. Admite-se, no entanto, a disposição em várias camadas, desde que o volume de material combustível representado pelos cabos (isolações capas e coberturas) não ultrapasse aos limites de $3,5 \text{ dm}^3/\text{m}$ para cabos BF da ABNT 6812 e $7 \text{ dm}^3/\text{m}$ linear para cabos de categoria AF ou AF/R da ABNT 6812.
- Admite-se a instalação de condutores isolados em eletrocalhas com paredes perfuradas e/ou tampas desmontáveis sem auxílio de ferramentas em locais só acessíveis a pessoas advertidas ou qualificadas.
- É conveniente ocupar a calha com no máximo 35% de sua área útil. As dimensões típicas de eletrocalhas são dadas na Tabela 3.49.

No caso de se instalarem 15 cabos de 95 mm^2 , isolação em XLPE (diâmetro externo igual a $17,7 \text{ mm}$ – Tabela 3.47), a eletrocalha deve ter dimensões de:

$$S_{cl} = \frac{15 \times \pi \times 17,70^2}{4} \times \frac{1}{0,35} = 10.545 \text{ mm}^2$$

$$S_{cl} = 200 \times 60 \text{ mm} \text{ (Tabela 3.49)}$$

TABELA 3.49

Dimensionamento de eletrocalhas (mm)

Largura	Altura	Comprimento
50	40	1.000
100	40	1.000
150	60	1.000
150	60	2.000
200	60	2.000
300	75	2.000
300	75	3.000
400	75	3.000
500	100	3.000
600	100	3.000

3.8.5 Espaços em Construção

Os espaços em construção podem ser utilizados para conduzir condutores elétricos, desde que estes condutores sejam isolados ou se utilizem cabos unipolares ou multipolares, de forma que qualquer um dos condutores possa ser utilizado sem intervenção nos elementos de construção do prédio.

Os métodos de instalação para os espaços em construção são dados na Tabela 3.4.

3.8.6 Linhas Enterradas

Não é comum o uso de condutores diretamente enterrados em instalações industriais em virtude da possibilidade de danos durante a movimentação de terra para ampliação e pelas dificuldades

adicionais de substituição dos condutores quando ocorrer um dano físico. Quando utilizados deve obedecer aos seguintes princípios:

- utilizar somente cabos unipolares ou cabos multipolares providos de armação ou proteção mecânica adicional;
- utilizar somente cabos armados quando não for empregada proteção mecânica adicional;
- somente utilizar condutores isolados em eletroduto enterrado se, no trecho enterrado, não houver nenhuma caixa de passagem e/ou derivação enterrada e for garantida a estanqueidade do eletroduto.
- os condutores devem ser enterrados a uma profundidade mínima de 0,70 m da superfície do solo, conforme Figuras 3.43 e 3.44;
- em travessias de veículos, a profundidade dos cabos deve ser de 1,0 m;
- no cruzamento de duas linhas elétricas, deve-se prever um afastamento de 0,20 m;
- no cruzamento de uma linha elétrica com um conduto não-elétrico, deve-se prever um afastamento de 0,20 m;
- qualquer linha elétrica enterrada, inclusive no interior de eletroduto, deve ser sinalizada continuamente por um elemento de advertência não sujeito à deterioração, conforme Figura 3.44.

FIGURA 3.43
Côtes multipolares enterrados

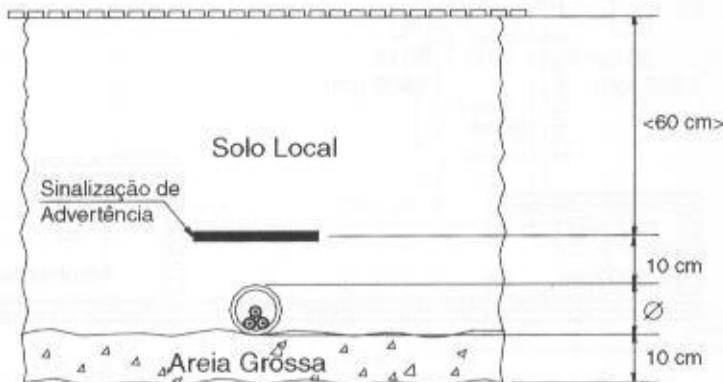
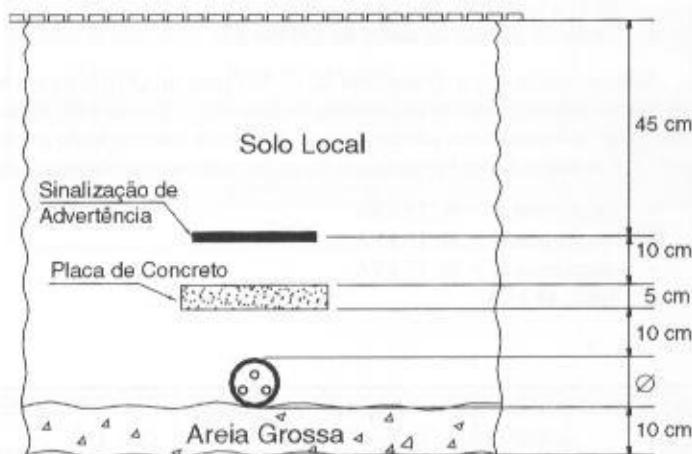


FIGURA 3.44
Côtes em dutos enterrados

3.1 Túneis

Em muitas indústrias são construídos túneis destinados à instalação de dutos de passagem de diversas utilidades, tais como eletricidade, telefone, ar comprimido, ar condicionado etc., não se admitindo, no entanto, tubulação com líquidos ou gases inflamáveis ou corrosivos. Neste caso, os cabos podem ser instalados em bandejas, eletrodutos, calhas etc. dispostos de maneira a dar maior facilidade possível à manutenção e oferecer segurança completa à presença das pessoas autorizadas.

3.8.8 Linhas Elétricas Enterradas

São assim denominadas os circuitos elétricos constituídos de condutores unipolares ou multi-polares instalados diretamente no solo ou no interior de eletrodutos, de acordo com os métodos de instalação de número 61, 61A, 63 da Tabela 3.4. Devem ser protegidas contra avarias mecânicas, umidade e produtos químicos.

A proteção mecânica pode ser fornecida pelo próprio condutor quando for especificado o tipo do armado, isto é, dotado de uma armação metálica. Já a proteção contra umidade e produtos químicos é realizada especificando-se um cabo com capa de cobertura e isolação adequados ao meio.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (3.17)

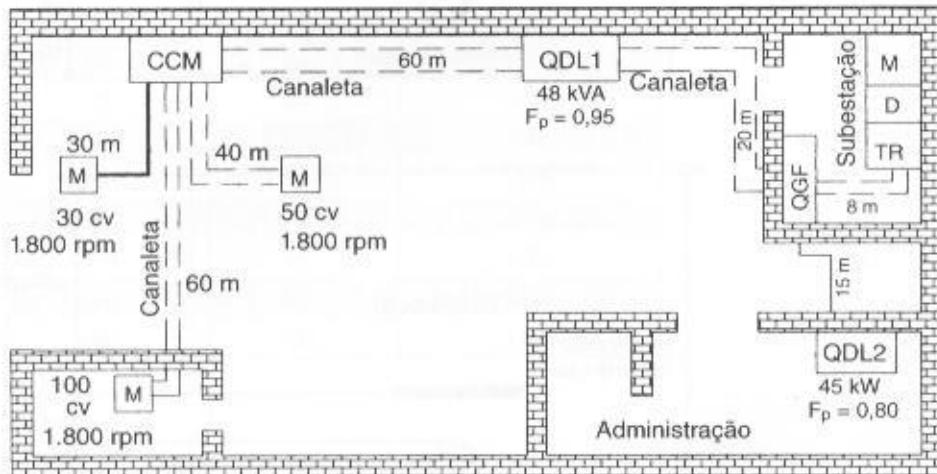
Determinar a seção dos condutores da instalação industrial mostrada na Figura 3.45, sabendo-se que:

- tensão secundária: 380Y/220V;
- frequência: 60 Hz;
- temperatura ambiente para o motor de 100 cv: 40°C;
- tipo de isolação dos cabos unipolares dos circuitos terminais dos motores: PVC/70°C – 0,6/1 kV;
- tipo de isolação dos cabos unipolares dos circuitos de distribuição dos QGF, CCM e QDLs: XLPE 90°C – 0,6/1 kV;
- tempo de partida do motor de 100 cv: 8 s.

Sabe-se, ainda, que o alimentador do CCM deriva do QGF e, no trecho entre este e o QDL1, os condutores ocupam a mesma canaleta de construção fechada. A Tabela 3.50 fornece os valores de carga da instalação referentes às dependências administrativas. A carga de iluminação do galpão industrial tem fator de potência igual a 0,95, é constituída por lâmpadas de descarga com reator eletrônico e opera durante 24 horas. Seu valor é:

- carga entre A – N: 15 kVA
- carga entre B – N: 16 kVA
- carga entre C – N: 17 kVA
- Total: 48 kVA

FIGURA 3.45
Instalação industrial

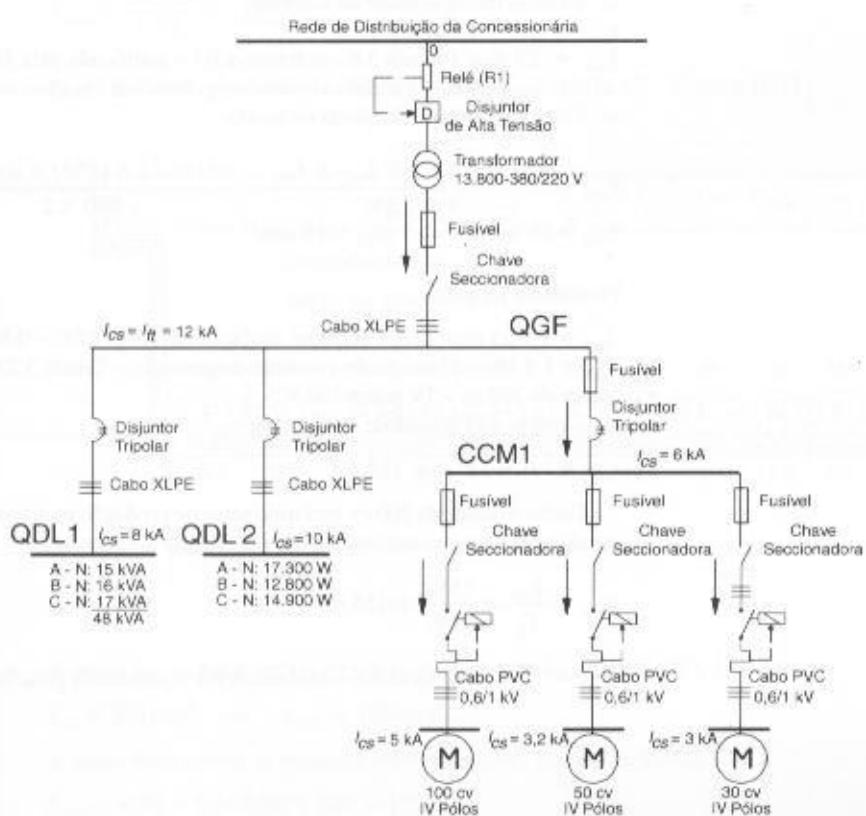


Será adotado o sistema de distribuição TN-S. O condutor de proteção será de cobre nu. Todos os cabos dispostos em canaleta estão de conformidade com a Figura 3.47. A canaleta é do tipo não ventilada no solo. O fator de potência médio da carga dos aparelhos dados na Tabela 3.50 é considerado 0,80. Será admitida, no exemplo, uma queda de tensão máxima de 6% entre os terminais secundários do transformador da subestação e o ponto de alimentação da carga, sendo 2% para os circuitos terminais e ramais parciais, 3% para os alimentadores do CCM e QDL, e 1% para o alimentador do QGF. O fator de potência dos motores é dado na Tabela 6.3. Não serão aplicados os fatores de utilização e de simultaneidade. As correntes de curto-circuito nos diferentes pontos do sistema estão definidas no diagrama unifilar da Figura 3.46. O tempo de atuação de todas as proteções será considerado igual a 30 ciclos, ou seja, 0,50 s.

TABELA 3.50

Quadro de carga da área administrativa -380/220 V – QDL2

Círcuito n.º	Designação da Carga	N.º pólos	A	B	C
			W	W	W
1	Illuminação	1	2.100		
2	Tomada	1		1.200	
3	Chuveiro	1		2.800	
4	Chuveiro	1			2.800
5	Ar condicionado	1			2.400
6	Ar condicionado	1	2.400		
7	Ar condicionado	1	2.400		
8	Illuminação	1		1.900	
9	Illuminação	1	2.000		
10	Aquecedor	1		2.500	
11	Aquecedor	1			2.500
12	Tomadas	1			1.200
13	Tomadas	1		2.000	
14	Ar condicionado	1		2.400	
15	Ar condicionado	1	2.400		
16	Fogão elétrico	1	6.000		
17	Forno elétrico	1			6.000
Total			17.300	12.800	14.900



a) Circuitos terminais

a1) Circuitos dos motores

- Motor de 30 cv – IV pólos/380 V
 - Critérios da capacidade de corrente

Da Equação (3.10), tem-se:

$$I_{cm1} = F_a \times I_{mn1}$$

$$I_{mn1} = 43,3 \text{ A (Tabela 6.3)}$$

$$I_{cm1} = 1,0 \times 43,3 = 43,3 \text{ A}$$

$S_{cm1} = 3 \# 10 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.6 – referência D justificada pela Tabela 3.4 – método de instalação 61A
cabos unipolares em eletroduto enterrado ou em canaleta não ventilada enterrada)

- Critério do limite da queda de tensão

Da Equação (3.17), tem-se:

$$S_{cm1} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times L_{cm1} \times I_{cm1}}{V_g \times \Delta V_c} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times (1/56) \times 30 \times 43,3}{2 \times 380}$$

$$S_{cm1} = 5,28 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cm1} = 6 \text{ mm}^2$$

Adotando-se a seção do condutor que satisfaça simultaneamente às condições de capacidade de corrente e queda de tensão, tem-se:

$$S_{cm1} = 3 \# 10 \text{ mm}^2 \text{ (cabo unipolar, isolação em PVC/70°C – 0,6/1 kV)}$$

$$S_{cm1} = 1 \# 10 \text{ mm}^2 \text{ (seção do condutor de proteção – Tabela 3.25)}$$

Adotando-se a Equação (3.18), tem-se:

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times I_c \times L_c \times (R \times \cos \phi + X \sin \phi)}{10 \times N_{cp} \times V_g} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \times 43,3 \times 30 \times (3,7035 \times \cos 33,90 + 0,1225 \times \sin 33,90)}{10 \times 1 \times 380}$$

$\Delta V_c = 1,86\%$ (valor próximo ao valor de 2% adotado e que resultou no condutor de 6 mm², cujos dados de impedância foram colhidos da Tabela 3.22)

- Motor de 50 cv – IV pólos/380 V

- Critério da capacidade de corrente

$$I_{cm2} = 1,0 \times 68,8 = 68,8 \text{ A}$$

$S_{cm2} = 25 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.6 – referência B1 – justificada pela Tabela 3.4 – método de instalação 3B
condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta fechada embutida no piso)

- Critério do limite da queda de tensão

$$S_{cm2} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times L_{cm2} \times I_{cm2}}{V_g \times \Delta V_c} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times (1/56) \times 40 \times 68,8}{380 \times 2}$$

$$S_{cm2} = 11,9 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cm2} = 16 \text{ mm}^2$$

Finalmente tem-se:

$$S_{cm2} = 3 \# 25 \text{ mm}^2 \text{ (cabo unipolar, isolação em PVC/70°C – 0,6/1 kV)}$$

$$S_{cp2} = 1 \# 16 \text{ mm}^2 \text{ (seção do condutor de proteção – Tabela 3.25)}$$

- Motor de 100 cv – IV pólos/380 V

- Critério da capacidade de corrente

$$I_{cm3} = 1,0 \times 135,4 = 135,4 \text{ A}$$

Como o motor de 100 cv está num setor de produção cuja temperatura é de 40°C, deve-se comprovar o valor da corrente conforme o valor da Tabela 3.12, ou seja:

$$I_{cm3c} = \frac{I_{cm3}}{F_d} = \frac{135,4}{0,87} = 155,6 \text{ A}$$

$S_{cm3} = 70 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.6 – referência B1 – justificada pela Tabela 3.4 – método de instalação 3B)

- Critério do limite da queda de tensão

$$S_{m3} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times L_{ow3} \times I_{om3}}{V_g \times \Delta V_c} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times (1/56) \times 60 \times 135,4}{380 \times 2}$$

$$S_{m3} = 33,0 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{om3} = 35 \text{ mm}^2$$

Adotando-se, então, o maior valor das seções obtidas, tem-se:

$$S_{om3} = 3 \# 70 \text{ mm}^2 \text{ (cabo unipolar, isolado em PVC/70°C - 0,6/1 kV)}$$

$$S_{op3} = 1 \# 35 \text{ mm}^2 \text{ (cabo unipolar, isolado em PVC/70°C - 0,6/1 kV)}$$

a2) Circuito terminais de iluminação

O exemplo não contempla os circuitos terminais de iluminação. A carga concentrada no QDL1 é de 48 kVA, com $\cos\phi = 0,95$.

b) Circuitos de distribuição dos CCM e QDL1

b1) Centro de Controle de Motores (CCM)

- Critério da capacidade de corrente

De acordo com a Equação (3.11), tem-se:

$$I_{con} = I_{nue1} \times F_{n(1)} + I_{nue2} \times F_{n(2)} + I_{nue3} \times F_{n(3)}$$

$$F_{n(1)} = F_{n(2)} = F_{n(3)} = 1$$

$$I_{con} = 43,3 + 68,8 + 135,4 = 247,50 \text{ A}$$

$$S_{con} = 150 \text{ mm}^2 \text{ (Tabela 3.7, cabo XLPE, referência D - justificada pela Tabela 3.4 - método de instalação 61A)}$$

Os condutores do CCM estão agrupados juntamente com os condutores que alimentam o QDL1, na mesma canaleta, totalizando sete cabos carregados (o condutor neutro do QDL1 é contado, pois integra um circuito com lâmpadas de descarga). A Tabela 3.15 indica o fator de agrupamento desejado. Sendo sete cabos carregados, o número de circuitos será de $7/3 = 3,2$ circuitos, ou simplesmente 3, tomando-se, portanto, o valor do fator de agrupamento $F_{ag} = 0,70$ (item 1 da Tabela 3.15).

É importante observar que, se os condutores forem dispostos na canaleta, de modo a manter um afastamento entre si igual ao dobro de seu diâmetro externo, não será necessário aplicar nenhum fator de agrupamento. Desta forma, a canaleta deveria ter as dimensões em mm, dadas na Figura 3.47. Entretanto, para demonstrar a aplicação, será considerado o fator de correção de agrupamento a ser aplicado ao valor da corrente de carga para três condutores obtidos da Tabela 3.12.

$$I_{con3} = \frac{247,50}{0,70} = 353,5 \text{ A}$$

$$S_{con} = 300 \text{ mm}^2 - \text{isolado XLPE/90°C - 0,6/1 kV (Tabela 3.7 - Coluna D11)}$$

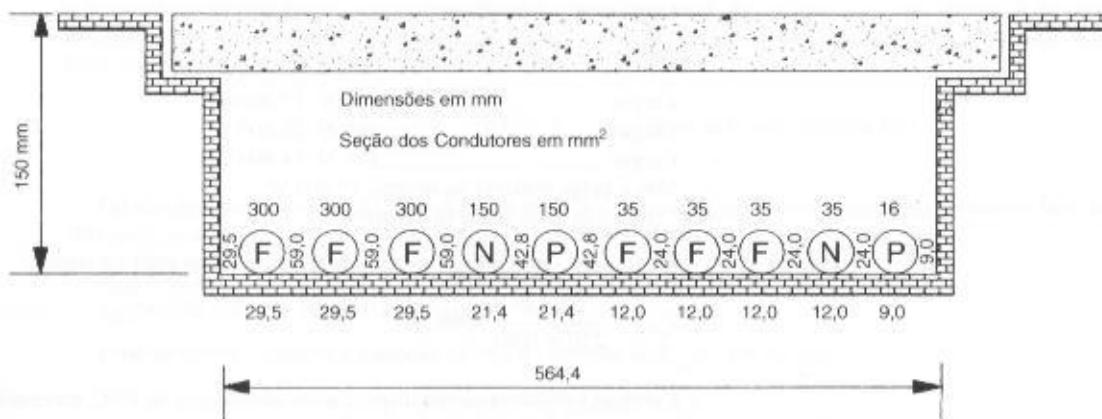


FIGURA 3.47

Orto transversal de uma canaleta com os respectivos condutores

A seção do condutor neutro correspondente, segundo a Tabela 3.23, é:

$$S_{con} = 300 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{accn} = 150 \text{ mm}^2$$

A seção do condutor de proteção correspondente, segundo a Tabela 3.25, é:

$$S_{pcow} = 0,50 \times S = 0,50 \times 300 = 150 \text{ mm}^2$$

b2) Quadro de Distribuição de Luz (QDL1)

- Critério da capacidade de corrente

$$I_{qdl1} = \frac{17.000}{220} = 77,2 \text{ A (fase C-N)}$$

$S_{qdl1} = 16 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.7 – coluna D11 – justificada pela Tabela 3.4 – referência de instalação 61A)

Aplicando-se o fator de agrupamento $F_{ag} = 0,70$, conforme já foi justificado anteriormente, tem-se:

$$I_{qdl1} = \frac{77,2}{0,70} = 110,2 \text{ A}$$

$S_{qdl1} = 35 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.7 – coluna D11)

- Critério do limite da queda de tensão

$$S_{qdl1} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times L_{qdl1} \times I_{qdl1}}{V_g \times \Delta V_c} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times (1/56) \times 20 \times 77,2}{380 \times 3} = 4,18 \text{ mm}^2$$

Logo, a seção escolhida será:

$$S_{qdl1} = 3 \# 35 \text{ mm}^2 (\text{XLPE}/90^\circ\text{C} - 0,6/1 \text{ kV})$$

A seção do condutor neutro correspondente, segundo a Tabela 3.23, é:

$$S_{qdl1} = 35 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdl1} = 25 \text{ mm}^2$$

Nenhuma redução na seção do condutor neutro será adotada em função da presença de motores eletrônicos e a geração de componentes harmônicos.

$$S_{nqdl1} = 35 \text{ mm}^2$$

A seção do condutor de proteção correspondente, segundo a Tabela 3.25, vale:

$$S_{pdl1} = 16 \text{ m}^2 (\text{XLPE}/90^\circ\text{C} - 0,6/1 \text{ kV})$$

b3) Quadro de Distribuição de Luz (QDL2)

Aplicando-se os fatores de demanda sobre a parte da carga instalada de iluminação e tomada, constante da Tabela 1.6, tem-se:

- Primeiros 20.000 W: 100%	10.400 W	(corresponde só a iluminação e tomadas)
- Ar condicionado	12.000 W	
- Aquecedor	5.000 W	
- Fogão elétrico	6.000 W	
- Chuveiro	5.600 W	
- Forno elétrico	6.000 W	
Demandas máximas resultante	45.000 W	

Do Quadro de Carga da Tabela 3.50, tem-se:

- Cargas A – N: 17.300 W
- Cargas B – N: 12.800 W
- Cargas C – N: 14.900 W
- Maior carga possível no neutro: 17.300 W
- * Critério da capacidade de corrente

De acordo com a Equação (3.8), tem-se para a fase mais carregada:

$$I_{qdl2} = \frac{17.300}{220 \times 0,80} = 98,3 \text{ A}$$

Como os condutores estão dispostos em eletrodutos de PVC, enterrados no solo, tem-se:

$$S_{qdl2} = 25 \text{ mm}^2 (\text{Tabela 3.7 - coluna D11 – método de instalação 61A da Tabela 3.4})$$

- Critério do limite da queda de tensão

$$S_{qdl2} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times L_c \times I_c}{V_g \times \Delta V_c} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times (1/56) \times 15 \times 98,3}{380 \times 3} = 4,0 \text{ mm}^2$$

$$S_{nqdl2} = 4 \text{ mm}^2$$

Adotando-se o valor que conduz à maior seção transversal, tem-se:

$$S_{qdf} = 3 \# 25 \text{ mm}^2 (\text{XLPE}/90^\circ\text{C} - 0,6/1 \text{ kV})$$

A seção do condutor neutro vale:

$$S_{nqdf} = 25 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdf} = 1 \# 25 \text{ mm}^2 (\text{Tabela 3.23})$$

A seção do condutor de proteção vale:

$$S_{pogf} = 1 \# 16 \text{ mm}^2 (\text{Tabela 3.25})$$

c) Circuito de alimentação do QGF

Para o cálculo do alimentador do QGF, foi considerada equilibrada a carga dos QDLs e CCM1, ou seja:

$$I_{qdl} = \frac{48}{\sqrt{3} \times 0,38} = 72,9 \text{ A}$$

$$I_{qdf} = \frac{45.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,80} = 85,4 \text{ A}$$

Considerando-se os fatores de potência das cargas (motores e iluminação), tem-se:

- Critério da capacidade de corrente

$$I_{qsa} = 43,3 \times 0,83 + 68,8 \times 0,86 + 135,4 \times 0,87 + 72,9 \times 0,95 + 85,4 \times 0,80 = 350,4 \text{ A}$$

$$I_{qsf} = 43,3 \times 0,55 + 68,8 \times 0,51 + 135,4 \times 0,49 + 72,9 \times 0,31 + 85,4 \times 0,60 = 199,0 \text{ A}$$

$$I_{qgkpf} = \sqrt{350,4^2 + 199,0^2} = 402,9 \text{ A}$$

$$S_{qdf} = 400 \text{ mm}^2 (\text{Tabela 3.7 - coluna D - método de instalação 61A da Tabela 3.4})$$

- Critério do limite da queda de tensão

$$S_{qgf} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times L_c \times I_c}{V_g \times \Delta V_c} = \frac{100 \times \sqrt{3} \times (1/56) \times 8 \times 402,9}{380 \times 1} = 26,2 \text{ mm}^2$$

$$S_{qdf} = 3 \# 400 \text{ mm}^2 (\text{XLPE}/90^\circ\text{C} - 0,6/1 \text{ kV})$$

Como a soma das potências absorvidas pelos equipamentos de utilização alimentados entre cada fase e o neutro, ou seja, $P_{qdl} + P_{qdf} = 48 + 45/0,8 = 104,2 \text{ kVA}$ é superior a 10% da potência total transportada pelo circuito ($P_t = \sqrt{3} \times 0,38 \times 402,9 = 265,1 \text{ kVA}$), logo, a seção do condutor neutro não pode ser reduzida, isto é:

$$S_{qgf} = 1 \# 400 \text{ mm}^2 (\text{XLPE}/90^\circ\text{C} - 0,6/1 \text{ kVA})$$

É aconselhável que o condutor que liga o transformador ao QGF seja dimensionado pela potência nominal do transformador, e não pela potência demandada da carga. Isto se deve ao fato de se poder utilizar toda a potência do transformador, que normalmente é superior ao valor da potência da carga, devido à escolha do mesmo recair nas potências padronizadas. Neste caso, a potência nominal do transformador será de 300 kVA, cuja corrente nominal vale:

$$I_{nt} = \frac{300}{\sqrt{3} \times 0,38} = 455,8 \text{ A} \rightarrow S_c = 400 \text{ mm}^2 (\text{Tabela 3.7})$$

De acordo com a Tabela 3.25, a seção do condutor de proteção, função da seção dos condutores fase de 400 mm², será:

$$S_{pogf} = 0,50 \times S_{qdf} = 0,50 \times 400 = 200 \text{ mm}^2$$

$$S_{pogf} = 240 \text{ mm}^2 (\text{XLPE } 90^\circ\text{C} - 0,6/1 \text{ kV})$$

Pode-se adotar, segundo a Equação (3.24), o condutor de $S_{pog} = 1 \# 50 \text{ mm}^2$

$$S_{pogf} = \frac{\sqrt{I_p^2 \times T_c}}{K} = \frac{\sqrt{12.000^2 \times 0,5}}{176} = 48,2 \text{ mm}^2$$

$I_p = 12.000 \text{ A}$ (corrente de curto-círcuito fase e terra no barramento do QGF)

$K = 176$ (círculo cujos condutores têm isolamento em XLPE)

d) Fator de potência médio da instalação

$$\cos\psi = \cos \operatorname{arctg} \left(\frac{199,0}{350,4} \right) = 0,86$$

e) Capacidade da corrente de curto-círcuito

Após definida a seção de todos os condutores e barras, e calculada a potência nominal dos transformadores deve-se proceder à determinação das correntes de curto-círcuito para os diferentes pontos da rede, notadamente os barramentos dos CCM, QDLs, QGF e terminais de ligação dos motores.

Os cabos, já dimensionados, devem suportar as intensidades dessas correntes, o que pode ser verificado através dos gráficos das Figuras 3.26 e 3.27.

O processo de cálculo das correntes de curto-círcuito será mostrado no Capítulo 5.

A verificação das seções dos condutores referente à suportabilidade das correntes de curto-círcuito pode ser feita da forma como se segue:

e1) Motor de 30 cv – IV pólos/380 V

Da Equação (3.19), tem-se:

$$S_{cm1} = \frac{\sqrt{0,5} \times 3}{0,34 \times \sqrt{\log\left(\frac{234 + 160}{234 + 70}\right)}} = 18,5 \text{ mm}^2$$

Como a seção mínima do condutor exigida é de 18,5 mm² pelo método da capacidade da corrente de curto-círcuito para um tempo de proteção de 0,5 s, e a seção já calculada é de 10 mm², logo, é necessário rever este último valor, elevando-se a referida seção dos condutores fase para 25 mm², ou seja:

$$S_{cm1} = 3 \# 25 \text{ mm}^2 (\text{PVC}/70^\circ\text{C} - 0,6/1 \text{ kV})$$

$$S_{cp1} = 1 \# 16 \text{ mm}^2 (\text{PVC}/70^\circ\text{C} - 0,6/1 \text{ kV})$$

Esta seção poderia também ser obtida através da Figura 3.27, entrando-se com o valor da corrente de curto-círcuito de 3 kA no eixo vertical do gráfico até encontrar a reta inclinada, que representa o tempo de eliminação de defeito igual a 30 ciclos (0,5 s), obtendo-se, em consequência, no eixo horizontal, a seção mínima admitida de $S_{cm1} = 18,5 \text{ mm}^2$.

e2) Motor de 50 cv – IV pólos/380 V

$$S_{cm2} = \frac{\sqrt{0,5} \times 3,2}{0,34 \times \sqrt{\log\left(\frac{234 + 160}{234 + 70}\right)}} = 19,8 \text{ mm}^2$$

Sendo a seção do condutor igual a 25 mm², já determinada, pelo método da capacidade de corrente, então deve permanecer com o mesmo valor, ou seja:

$$S_{cm2} = 3 \# 25 \text{ mm}^2 (\text{PVC}/70^\circ\text{C} - 0,6/1 \text{ kV})$$

$$S_{cp2} = 1 \# 16 \text{ mm}^2 (\text{PVC}/70^\circ\text{C} - 0,6/1 \text{ kV})$$

e3) motor de 100 cv – IV pólos/380 V

$$S_{cm3} = \frac{\sqrt{0,5} \times 5}{0,34 \times \sqrt{\log\left(\frac{234 + 160}{234 + 70}\right)}} = 30,9 \text{ mm}^2$$

Logo, a seção do condutor, que é de 70 mm², está compatível com o método da capacidade de corrente de curto-círcuito, ou seja:

$$S_{cm3} = 3 \# 70 \text{ mm}^2$$

$$S_{cp3} = 1 \# 35 \text{ mm}^2$$

Deixa-se para o leitor a verificação da capacidade de corrente de curto-círcuito para o restante dos condutores, a qual deve obedecer à mesma sistemática seguida:

f) Dutos

- Circuitos do motor de 30 cv: eletroduto de PVC rígido rosqueado, classe A (Tabela 3.46)
- condutores: 3 # 25 mm² + 1 PE – 16 mm²

Através da Tabela 3.47, considerando-se os condutores unipolares de fase e de proteção, isolados em PVC, tem-se:

$$S_{cond} = \frac{3 \times \pi \times 10,80^2}{4} + \frac{1 \times \pi \times 9,0^2}{4} = 338,4 \text{ mm}^2$$

$$S_e = 1 \frac{1}{14}'' (\text{Tabela 3.46})$$

- Circuitos do motor de 100 cv
- Condutores: 3 # 70 mm² + 1 PE - 35 mm²

Através da Tabela 3.47, considerando-se os condutores unipolares de fase e de proteção, isolados em PVC, tem-se:

$$S_{\text{cond}} = \frac{3 \times \pi \times 15,50^2}{4} + \frac{1 \times \pi \times 12,0^2}{4} = 679,1 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{can}} = \frac{679,1}{0,30} = 2.263 \text{ mm}^2$$

$S_{\text{can}} = 150 \times 150 \text{ mm}^2$ (valor mínimo adotado)

- Circuito do motor de 50 cv
- Condutores: 3 # 25 mm² + 1 PE - 16 mm²
- $S_{\text{cond}} = 3 \times 91,6 + 63,6 = 338,4 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.48)
- $S_{\text{can}} = 150 \times 150$ (valor mínimo adotado)
- Circuitos de distribuição entre o QGF e QDL1

Nesse trecho, os cabos com isolação em XLPE estão dispostos em canaletas não ventiladas, ou seja:

$$(3 \# 300 \text{ mm}^2 + 1N - 150 \text{ mm}^2 + 1PE - 150 \text{ mm}^2) + (3 \# 35 \text{ mm}^2 + 1N - 35 \text{ mm}^2 + 1PE - 16 \text{ mm}^2)$$

$$S_{\text{cond}} = \frac{3 \times \pi \times 29,5^2}{4} + \frac{2 \times \pi \times 21,4^2}{4} + \frac{3 \times \pi \times 12^2}{4} + \frac{1 \times \pi \times 12^2}{4} + \frac{1 \times \pi \times 9,0^2}{4}$$

$$S_{\text{cond}} = 3.285 \text{ mm}^2$$

A área transversal da canaleta vale:

$$S_{\text{can}} = \frac{3.285,8}{0,30} = 10.952 \text{ mm}^2$$

A área transversal mínima seria de:

$$S_{\text{can}} = 110 \times 110 \text{ mm} = 11.000 \text{ mm}^2$$

Como é impraticável a construção de uma canaleta no piso com dimensões tão pequenas, será adotado um tamanho viável para a construção em alvenaria, ou seja:

$$S_{\text{can}} = 150 \times 150 \text{ mm} = 22.500 \text{ mm}^2$$

Se fosse adotada como solução construir uma canaleta com as dimensões adequadas para dispor os condutores numa só camada, mantendo-se uma distância entre si igual ao dobro do seu diâmetro externo, ter-se-ia uma canaleta com as dimensões dadas na Figura 3.47, ou seja:

$$S_{\text{can}} = 564,4 \times 150 \text{ mm} = 84.660 \text{ mm}^2$$

Fica também a cargo do leitor determinar as dimensões do restante dos condutos.