

4 – LINHAS ELÉTRICAS

4.1 – Condutores elétricos.

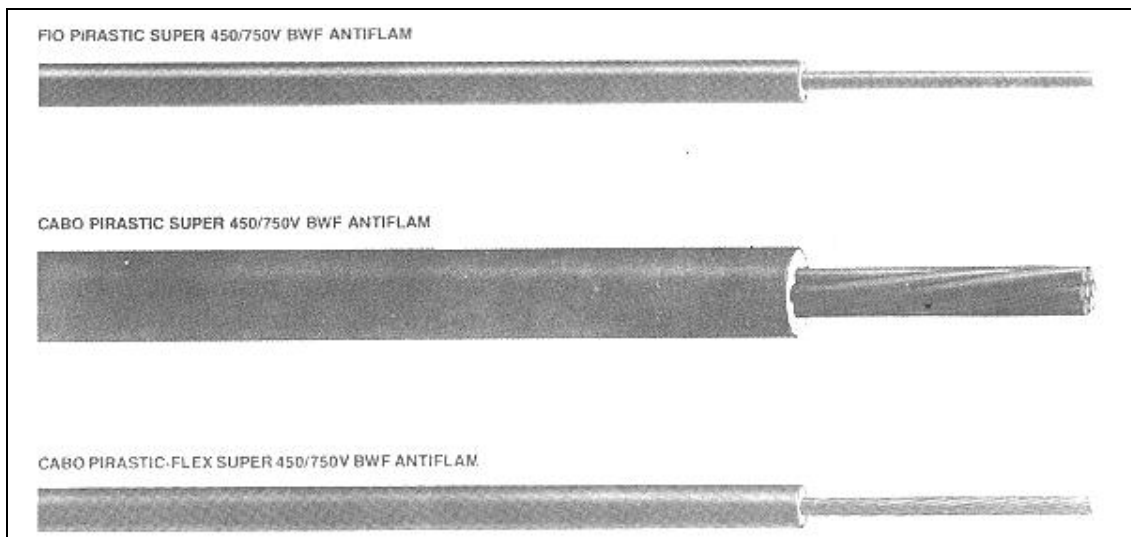
Os condutores elétricos constituem os principais componentes das linhas elétricas que conduzem eletricidade até as cargas elétricas. Define-se condutor elétrico como sendo o produto metálico, geralmente de forma cilíndrica, utilizado para transportar energia elétrica ou transmitir sinais elétricos.

Basicamente podemos considerar três tipos de condutores elétricos:

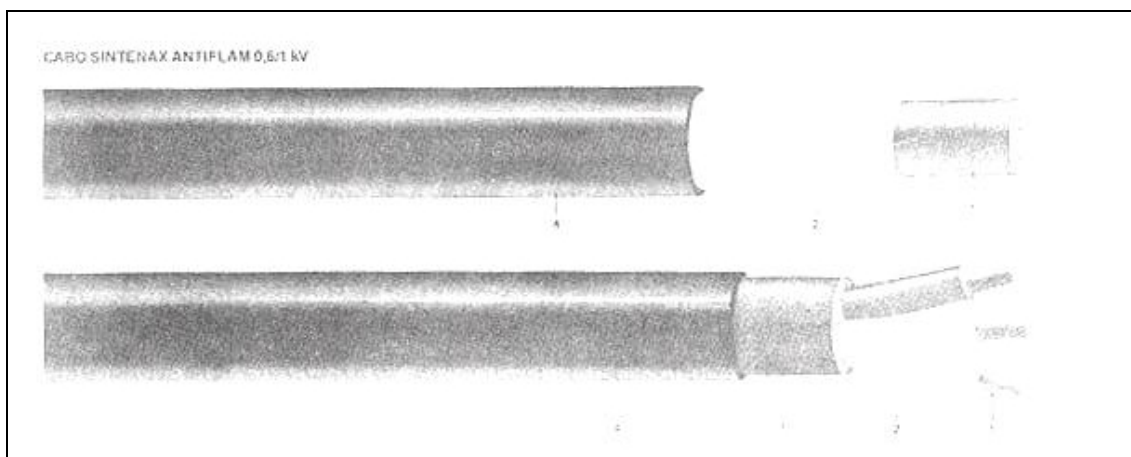
- fios – usados diretamente no transporte de eletricidade. Podem ser nus (sem isolamento) ou com isolantes (PVC, XLPE, etc).
- cabos – são os conjuntos de fios encordoados, isolados ou não entre si, podendo o conjunto ser isolado ou não.
- barramento – condutor rígido, em forma de tubo ou de seção perfilada. São utilizados diretamente em equipamentos, tais como quadros de distribuição.

A Figura 5 apresenta exemplos de fios e cabos.

Figura 5: Exemplos de fios e cabos.



É importante definir também os conceitos de cabos unipolares e cabos multipolares. Cabos unipolares são cabos constituídos por um único condutor isolado e dotado de cobertura. Um cabo multipolar é constituído por dois ou mais condutores isolados e dotado de cobertura. Os condutores isolados constituintes dos cabos uni e multipolares são chamados de veias. Os cabos multipolares contendo 2, 3, 4, etc veias são chamados, respectivamente, de bipolares, tripolares, tetrapolares, etc. Nos cabos uni e multipolares, a cobertura age principalmente como proteção da isolação, impedindo seu contato direto com o ambiente. A Figura 6 mostra exemplos de cabos uni e multipolares.

Figura 6: Exemplo de cabos uni e multipolares.

Em termos de materiais, os mais usados são o alumínio e o cobre. Os condutores de alumínio são mais utilizados em linhas de distribuição e transmissão de energia elétrica. As instalações de baixa tensão são constituídas basicamente por condutores de cobre, sendo o alumínio utilizado somente em ocasiões específicas.

4.2 – Tipos de linhas elétricas

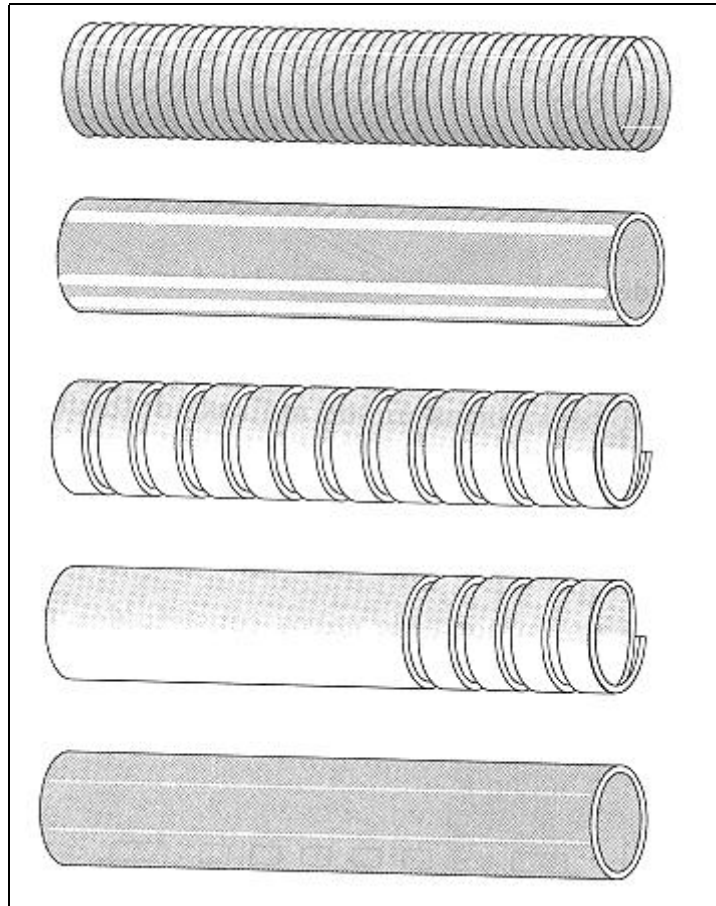
Uma linha elétrica engloba os condutores e os eventuais elementos de fixação, suporte e proteção mecânica a eles associados. São vários os tipos de linhas:

- linha aberta: linha em que os condutores são circundados por um ar ambiente não confinado;
- linha aérea: linha (aberta) em que os condutores ficam elevados em relação ao solo e afastados de outras superfícies que não os respectivos suportes;
- linha aparente: linha em que os condutos ou condutores não estão embutidos;
- linha em parede ou no teto: linha aparente em que os condutores ficam na superfície de uma parede ou de um teto, dentro ou fora de condutos;
- linha embutida: linha em que os condutos ou condutores são encerrados nas paredes ou na estrutura do prédio;
- linha subterrânea: linha construída com cabos isolados, enterrados diretamente no solo ou instalados em condutos subterrâneos.

Denomina-se conduto elétrico a uma canalização destinada a conter condutores elétricos. Nas instalações elétricas são utilizados vários tipos de condutos: eletrodutos, calhas, molduras, blocos alveolados, canaletas, bandejas, escadas para cabos, poços e galerias.

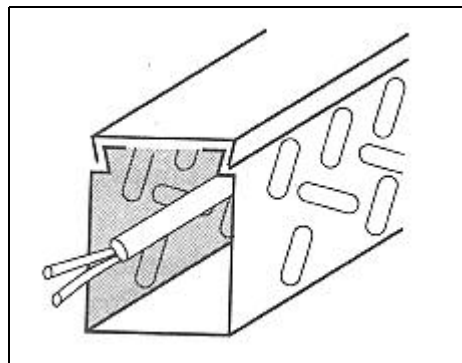
Um eletroduto é um elemento de linha elétrica fechado, de seção circular ou não, destinado a conter condutores elétricos. Os eletrodutos podem ser metálicos (aço ou alumínio) ou de material isolante (PVC, polietileno, fibro-cimento, etc). São usados em linhas elétricas embutidas ou aparentes. A Figura 7 apresenta exemplos de eletrodutos.

Figura 7: Exemplos de eletrodutos.



Uma calha é um conduto fechado utilizado em linhas aparentes, com tampas desmontáveis em toda sua extensão, para permitir a instalação e remoção de condutores. Podem ser metálicas (aço, alumínio) ou isolantes (plásticos). A Figura 8 apresenta um exemplo de calha.

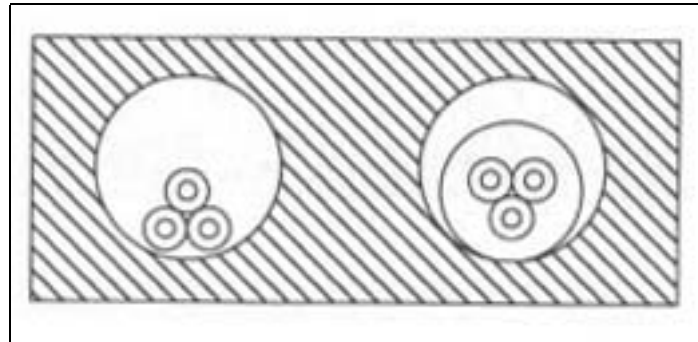
Figura 8: Exemplo de calha.



Chama-se moldura o conduto utilizado em linhas aparentes, fixado ao longo de paredes, compreendendo uma base com ranhuras para colocação de condutores e uma tampa desmontável em toda a sua extensão. As molduras podem ser de madeira ou de plástico.

Um bloco alveolado é um bloco de construção com um ou mais furos que, por justaposição com outros blocos, forma um ou mais condutos fechados. A Figura 9 apresenta um exemplo de bloco alveolado.

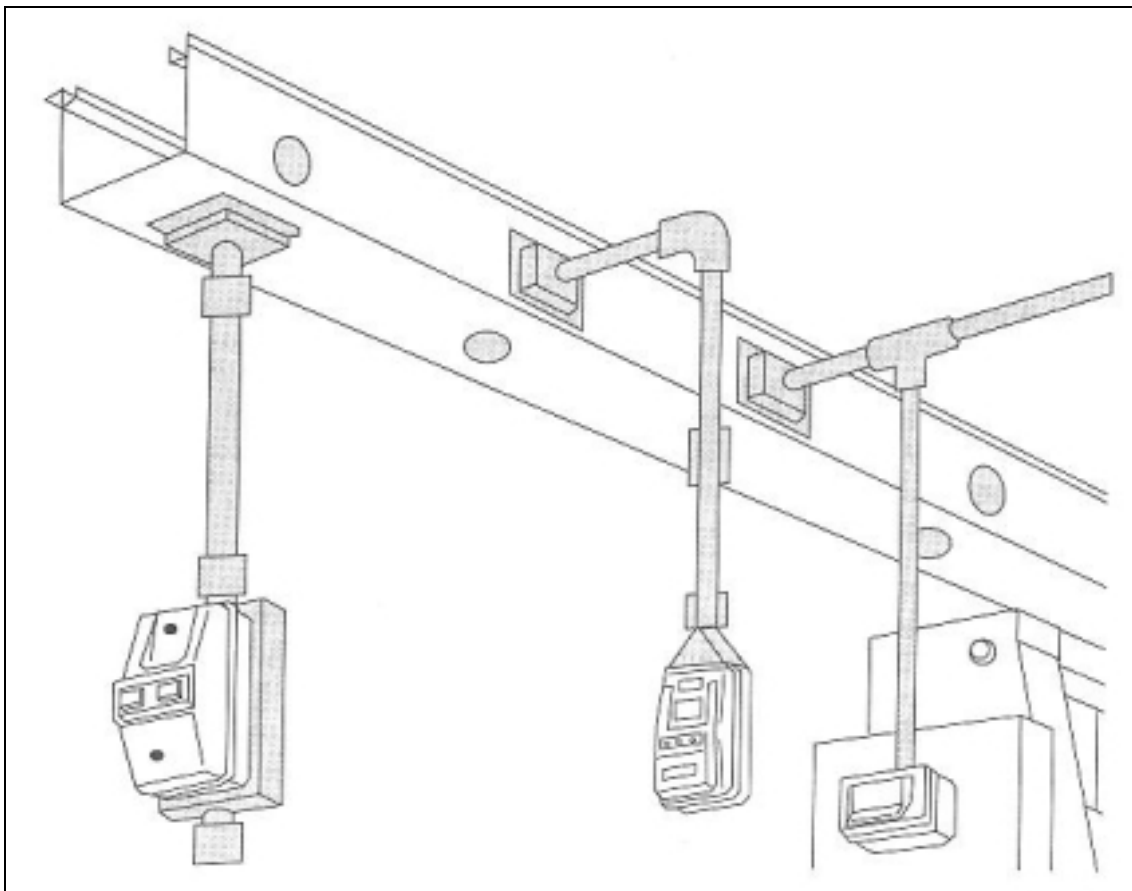
Figura 9: Exemplo de bloco alveolado.



Uma canaleta é um conduto com tampas, ao nível do solo, removíveis e instaladas em toda a sua extensão.

Uma bandeja é um suporte de cabos constituída por uma base contínua com rebordos e sem cobertura. As bandejas são geralmente metálicas. A Figura 10 apresenta um exemplo de instalação utilizando bandejas e eletrodutos.

Figura 10: Exemplo de instalação elétrica com bandeja e eletrodutos.



A Tabela 3 apresenta um resumo da classificação das linhas elétricas (quando considera-se a sua forma de instalação).

Tabela 3: Tipos de linhas elétricas

REF	DESCRIÇÃO
A	1 Condutores isolados, cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto embutido em parede termicamente isolante.
	2 Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em parede isolante.
	3 Condutores isolados, cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto contido em canaleta fechada.
B	1 Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente.
	2 Condutores isolados ou cabos unipolares em calha.
	3 Condutores isolados ou cabos unipolares em moldura.
	4 Condutores isolados, cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto contido em canaleta aberta ou ventilada..
	5 Condutores isolados, cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto embutido em alvenaria.
	6 Cabos unipolares ou cabo multipolar contido(s) em blocos alveolados.
C	1 Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente fixados em parede ou teto.
	2 Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) (diretamente) em alvenaria.
	3 Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta aberta ou ventilada.
	4 Cabo multipolar em eletroduto aparente.
	5 Cabo multipolar em calha.
D	1 Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto enterrado no solo.
	2 Cabos unipolares ou cabo multipolar enterrado(s) diretamente no solo.
	3 Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta fechada.
E	- Cabo multipolar ao ar livre.
F	- Condutores isolados e cabos unipolares agrupados ao ar livre.
G	- Condutores isolados e cabos unipolares espaçados ao ar livre.
H	- Cabos multipolares em bandejas não perfuradas ou em prateleiras.
J	- Cabos multipolares em bandejas perfuradas.
K	-- Cabos multipolares em bandejas verticais perfuradas.
L	- Cabos multipolares em escadas para cabos ou em suportes.
M	- Cabos unipolares em bandejas não perfuradas ou em prateleiras.
N	- Cabos unipolares em bandejas perfuradas.
P	- Cabos unipolares em escadas para cabos ou em suportes.
Q	- Cabos unipolares em escadas para cabos ou em suportes.

Já a Tabela 4 apresenta os tipos de montagem permitidas, segundo o método de instalação, pela Norma NBR 5410.

Tabela 4: Instalações de linhas elétricas.

Montagem	MÉTODO DE INSTALAÇÃO							
	Eletroduto	Moldura	Diretamente fixado	Bandeja, Escada para cabos, prateleiras	Suporte	Calha	Direto (sem fixação)	Sobre isoladores
Aparente	B1,C4	B3	C1	H, J, K, L, M, N, P, Q	I, Q	B2, C5	-	E, F, G
Embutido	A1,B5	-	-	-	-	-	A2, C2	-
Poço	B1	0	C1	K, P	L	B2, C5	-	-
Canaleta	A3, B4	-	C1	H, J, K, L, M, N, P, Q	L	0	C3	-
Espaço de construção	B1	-	C1	H, J, K, L, M, N, P, Q	L	B2, C5	-	-
Bloco alveolar	0	-	-	-	-	-	B5	-
Enterrado	D1	-	-	-	-	-	D2	-
Aéreo	-	-	-	-	-	-	-	E, F, G

Indicações: (-) – não permitido; (0) – não usado na prática.

As instalações embutidas apresentam normalmente a rede de fios condutores disposta internamente a uma rede composta por eletrodutos e caixas de passagem, que, por sua vez, são montados no interior das paredes, pisos e tetos das edificações. Em alguns casos os cabos são fixados diretamente.

As instalações abertas com condutores em isoladores apresentam a rede de condutores suportada por isoladores que, por sua vez, são fixados em paredes, tetos, vigas de telhado, etc. Não se deve proceder a instalação desse tipo em habitações, garagens comerciais, teatros, estúdios cinematográficos, poços de elevadores e “ambientes potencialmente agressivos” (locais onde existem líquidos ou vapores de gases combustíveis, bem como metais ou fibras combustíveis).

5 – DIVISÃO DE CIRCUITOS

Como anteriormente observado, é interessante realizar uma divisão de circuitos em projetos elétricos, visando uma maior confiabilidade da instalação. Alguns critérios podem ser adotados para realizar essa divisão:

- prever circuitos individualizados em função do tipo de aparelhos que alimentam, como por exemplo circuitos distintos para iluminação, tomadas, motores, etc;
- dividir a carga de iluminação, se possível, em vários circuitos, que atendam os vários pontos da edificação;
- prever condutores compatíveis com os terminais e com as cargas dos aparelhos e tomadas que irão ser atendidas;
- agrupar cargas nos circuitos de modo a respeitar a máxima capacidade de condução de corrente dos condutores, bem como a sua queda de tensão

admissível, prevendo-se ainda uma margem de segurança para acréscimos de carga (por exemplo de 20%).

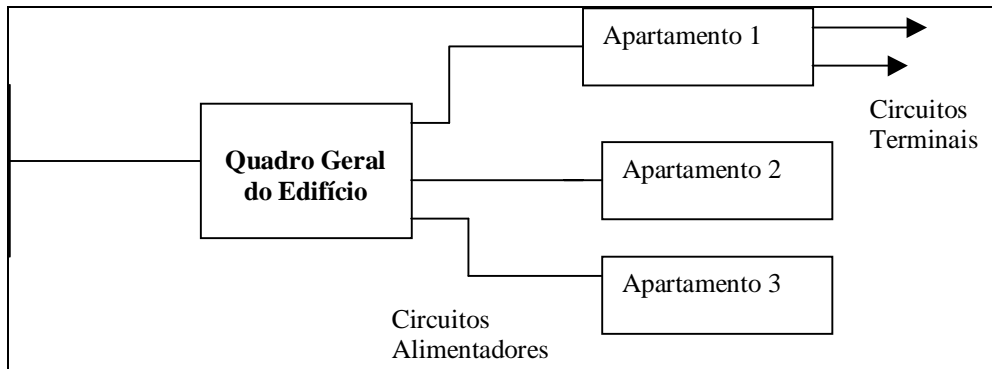
No caso de quartos de hotéis, residências e similares, é permitido o agrupamento, em um mesmo circuito, de cargas de iluminação e tomadas, exceto em cozinhas, copas e áreas de serviço, onde as tomadas devem ser supridas por circuitos exclusivos. Devem ser previstos circuitos independentes para as cargas de potência acima de 1500 VA (porém as de mesmo tipo podem ser alimentadas pelo mesmo circuito).

É usual fixar-se a carga máxima de 1500 VA nos circuitos em 110 V, objetivando-se o uso de condutor de 1,5 mm².

6 – DIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS TERMINAIS E ALIMENTADORES

A Figura 11 retrata uma instalação de um prédio de apartamentos, destacando-se a existência de circuitos alimentadores (ou de distribuição) e circuitos terminais.

Figura 11: Exemplo de circuitos terminais e alimentadores.



Deve-se proceder o dimensionamento tanto dos condutores dos circuitos terminais como dos circuitos alimentadores (condutores fase e neutro).

Há dois critérios básicos que devem ser obedecidos no dimensionamento elétrico dos circuitos de uma instalação elétrica predial:

- capacidade de corrente admissível;
- queda de tensão admissível.

Estes dois aspectos estão contemplados em disposições de normas e em características técnicas dos materiais que os fabricantes garantem.

6.1 - Dimensionamento de condutores terminais.

Para cálculos dos condutores terminais, inicialmente deve-se identificar o tipo de condutor e a maneira de instalar. Normalmente, em instalações elétricas de baixa tensão, adota-se condutores de cobre isolados, por exemplo com PVC. A maneira de instalar tem haver, como já visto, com o modo como os condutores serão instalados. Por exemplo, em eletrodutos aparentes, em eletrodutos embutidos em alvenaria, em calhas, etc.

Após essa etapa, deve-se proceder a determinação da corrente de projeto ou corrente de carga, I_b .

$$I_b = \frac{P_{\max}}{k \cdot U \cdot f_p} \quad (1)$$

sendo:

$P_{\text{máx}}$ = potência máxima instalada [W];

U = tensão do circuito [V];

fp = fator de potência do circuito;

k = constante que vale 1 para circuitos monofásicos ou bifásicos e $\sqrt{3}$ para circuitos trifásicos.

Exemplo 1: Determinar a corrente de projeto de uma carga de 2000 W, tensão de 220 V (FF) e fator de potência de 0,87.

Solução

$$I_b = \frac{2000}{220 \cdot 0,87} \Rightarrow I = 11,49 \text{ [A]}.$$

Exemplo 2: Um circuito trifásico alimenta uma carga de 8000 W. Sendo sua tensão de alimentação 380 V e o fator de potência do circuito de 0,9, determine a corrente de projeto do circuito.

Solução

$$I_b = \frac{8000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87} \Rightarrow I = 13,97 \text{ [A]}$$

Exemplo 3: Um circuito monofásico (F-N), de 127 V, alimenta uma carga de 4500 VA. Determine a corrente de projeto do circuito.

Solução

$$I_b = \frac{4500}{127} \Rightarrow I = 35,43 \text{ [A]}$$

Note-se que, no exemplo 3, não há necessidade de se utilizar o fator de potência. Isso decorre do fato de a potência fornecida (4500 VA) ser aparente e não ativa (conceitos de circuitos de corrente alternada).

De posse do valor da corrente, deve-se consultar tabelas dos fabricantes para verificar a seção da corrente. Um exemplo está na Tabela 5.

Tabela 5: Capacidade de condução de corrente, em Amperes, de condutores.

Seção nominal [mm ²]	Maneiras de instalar (tipos de linhas)											
	A1		A2		B1		B5		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
Cobre												
1,0	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	248	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	320	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
Alumínio												
35	77	70	71	65	97	86	86	77	103	90	96	80
50	93	84	86	78	118	104	104	92	125	110	113	94
70	118	107	108	98	150	133	131	116	160	140	140	117
95	142	129	130	118	181	161	157	139	195	170	166	138
120	164	149	150	135	210	186	181	160	226	197	189	157
150	189	170	172	155	241	214	206	183	261	227	213	178
185	215	194	195	176	275	245	234	208	298	259	240	200
240	252	227	229	207	324	288	274	243	352	305	277	230
300	289	261	263	237	372	331	313	278	406	351	313	260

Em princípio, o número de condutores carregados a considerar é o número de condutores vivos (percorridos por corrente) do circuito, isto é, fases e neutros, se existir. No entanto, os circuitos trifásicos com neutro são considerados, via de regra, para efeito de dimensionamento dos condutores, como equilibrados e, portanto, com três condutores carregados, a menos que seja indicado o contrário. A seguir é apresentado um resumo sobre o número de condutores carregados:

- Fase - Neutro ⇒ dois condutores carregados;
- Fase - Fase ⇒ dois condutores carregados;
- 2 Fases - Neutro ⇒ três condutores carregados;
- 3 Fases ⇒ três condutores carregados;
- 3 Fases - Neutro ⇒ três condutores carregados.

Exemplo 4: Determinar a seção dos condutores de um circuito de 220 V (F - F), que possui uma corrente de projeto de 45 A. Este circuito será constituído por condutores de cobre com isolamento PVC e será instalado diretamente em parede térmicamente isolante.

Solução

Da Tabela 3, verifica-se a maneira de instalar: maneira de instalar - A2 (condutores isolados instalados diretamente em parede térmicamente isolante). O número de condutores carregados é dois (circuito com duas fases). Com essa maneira de instalar, o número de condutores carregados e com o valor da corrente de projeto ($I_b = 45 \text{ A}$), é necessário utilizar a Tabela 5. Por esta Tabela, chega-se a seguinte conclusão: o condutor de 6 mm^2 suporta, nesta modalidade de instalação, uma corrente de 31 A e, portanto, não pode ser utilizado. A próxima seção é a de 10 mm^2 , que suporta uma corrente de 42 A, com este tipo de instalação, e, portanto não pode ser utilizado. A próxima seção é a de 16 mm^2 , que suporta uma corrente de 56 A, com este tipo de instalação. Assim, o condutor utilizado será de 16 mm^2 .

Um ponto importante a destacar é que as tabelas dos fabricantes de condutores são construídas considerando uma temperatura ambiente de 30° C para um único circuito instalado no conduto (eletrodutos, calhas, bandejas, etc). Em situações diferentes, deve-se adotar fatores de correção de temperatura e de agrupamento, ou seja, considerar os efeitos dos diversos circuitos nos condutores. As Tabelas 6 e 7 trazem, respectivamente, os fatores de correção de temperatura e de agrupamento.

Tabela 6: Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30° C .

Temperatura ambiente ($^\circ \text{ C}$)	Tipo de isolamento	
	PVC/70	XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82

Tabela 7: Fator de correção para agrupamento de circuitos ou cabos multiplexados.

Número de circuitos ou cabos multiplexados	Fator de correção
1	1,0
2	0,8
3	0,7
4	0,65
5	0,6
6	0,55

A partir dos valores determinados, calcula-se o valor da denominada corrente fictícia de projeto (I_b'), através da relação seguinte:

$$I_b' = \frac{I_b}{f_1 \cdot f_2} \quad (2)$$

sendo:

I_b' = corrente fictícia de projeto [A];

I_b = corrente de projeto [A];

f_1 = fator de correção de temperatura;

f_2 = fator de correção de agrupamento.

Exemplo 5: Determinar a seção dos condutores para um circuito terminal (F - N) de tomadas, cuja potência máxima é de 1.800 W. Considere os seguintes dados: tensão de 127 V, condutores de cobre com isolamento de PVC, eletrodutos de PVC aparentes, temperatura de 30°C, fator de potência de 0,8.

Solução

Maneira de instalar: B1 (eletrodutos aparentes - Tabela 3).

Dois condutores carregados (F - N).

Cálculo da corrente de projeto:

$$I_b = \frac{1800}{127 \cdot 0,8} \Rightarrow I = 17,72 \text{ [A]}$$

Fator de correção da temperatura: $f_1 = 1$ (temperatura de 30°C).

Fator de correção de agrupamento: $f_2 = 1$ (somente um circuito no eletroduto).

Logo: $I_b = I_b'$

Com o valor de I_b consulta-se a Tabela 5 para determinar o valor da seção do condutor e obtém-se:

- condutor de 1 mm²: suporta uma corrente de 14 A - não pode ser utilizado;
 - condutor de 1,5 mm²: suporta uma corrente de 17,5 A - não pode ser utilizado;
 - condutor de 2,5 mm²: suporta uma corrente de 24 A - pode ser utilizado.
- Assim, a seção dos condutores será de 2,5 mm².

Exemplo 6: Determinar a seção dos condutores para instalação de um chuveiro cuja potência é de 5.400 W, sendo que no primeiro trecho do eletroduto tem-se mais dois circuitos. Considere os seguintes dados: tensão de 220 V (F - F), condutores de cobre com isolamento de PVC, eletrodutos de PVC embutidos em parede térmicamente isolante, temperatura de 30°C, fator de potência de 1,0.

Solução

Maneira de instalar: A1 (eletrodutos embutidos em parede térmicamente isolante - Tabela 3).

Dois condutores carregados (F - F).

Cálculo da corrente de projeto:

$$I_b = \frac{5400}{220} \Rightarrow I = 24,55 \text{ [A]}$$

Fator de correção da temperatura: $f_1 = 1$ (temperatura de 30°C).

Fator de correção de agrupamento: $f_2 = 0,7$ (três circuitos no eletroduto).

Cálculo da corrente fictícia de projeto (I_b'):

$$I_b' = \frac{24,55}{0,7} \Rightarrow I = 35,07 \text{ [A]}$$

Com o valor de I_b' consulta-se a Tabela 5 para determinar o valor da seção do condutor e obtém-se:

- condutor de 1 mm^2 : suporta uma corrente de 11 A - não pode ser utilizado;
 - condutor de $1,5 \text{ mm}^2$: suporta uma corrente de 14,5 A - não pode ser utilizado;
 - condutor de $2,5 \text{ mm}^2$: suporta uma corrente de 19,5 A - não pode ser utilizado;
 - condutor de 4 mm^2 : suporta uma corrente de 26 A - não pode ser utilizado;
 - condutor de 6 mm^2 : suporta uma corrente de 34 A - não pode ser utilizado;
 - condutor de 10 mm^2 : suporta uma corrente de 46 A - pode ser utilizado;
- Assim, a seção dos condutores será de 10 mm^2 .

Exemplo 7: Qual seria o condutor utilizado para alimentar o chuveiro do Exemplo 6, se no eletroduto houvesse apenas um circuito.

Solução.

Neste caso tem-se:

$$I_b' = I_b = 24,55 \text{ [A]}$$

- condutor de 1 mm^2 : suporta uma corrente de 11 A - não pode ser utilizado;
 - condutor de $1,5 \text{ mm}^2$: suporta uma corrente de 14,5 A - não pode ser utilizado;
 - condutor de $2,5 \text{ mm}^2$: suporta uma corrente de 19,5 A - não pode ser utilizado;
 - condutor de 4 mm^2 : suporta uma corrente de 26 A - não pode ser utilizado;
- Assim, a seção dos condutores seria de 4 mm^2 .

Exemplo 8: Um circuito trifásico equilibrado de 4 fios (3F - 1 N) alimenta uma carga de 10.000 VA. Determine a seção dos condutores considerando os seguintes dados: tensão de 220 V, condutores de cobre com isolamento de PVC, instalados em canaletas abertas, temperatura de 40°C . Na canaleta será instalado mais um circuito.

Solução

Maneira de instalar: C3 (condutores instalados em canaleta aberta - Tabela 3).

Três condutores carregados - circuito trifásico equilibrado.

Cálculo da corrente de projeto:

$$I_b = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 220} \Rightarrow I = 26,24 \text{ [A]}$$

No cálculo da corrente de projeto (I_b) não foi necessário o uso do fator de potência pois a potência fornecida é aparente (VA).

Fator de correção da temperatura: $f_1 = 0,87$ (temperatura de 40°C).

Fator de correção de agrupamento: $f_2 = 0,8$ (dois circuitos no eletroduto).

Cálculo da corrente fictícia de projeto (I_b'):

$$I_b' = \frac{26,24}{0,87 \cdot 0,8} \Rightarrow I = 37,70 \text{ [A]}$$

Com o valor de I_b' consulta-se a Tabela 5 para determinar o valor da seção do condutor e obtém-se:

- condutor de 1 mm^2 : suporta uma corrente de 14 A - não pode ser utilizado;
- condutor de $1,5 \text{ mm}^2$: suporta uma corrente de 17,5 A - não pode ser utilizado;
- condutor de $2,5 \text{ mm}^2$: suporta uma corrente de 24 A - não pode ser utilizado;

- condutor de 4 mm²: suporta uma corrente de 32 A - não pode ser utilizado;
 - condutor de 6 mm²: suporta uma corrente de 41 A - pode ser utilizado;
- Assim, a seção dos condutores será de 6 mm².

Além dos condutores apresentarem condições para suportar as correntes de projeto, as quedas de tensão que irão ocorrer devem permanecer dentro dos limites impostos pelas normas.

Os limites máximos de queda de tensão, entre a origem da instalação e qualquer ponto de utilização, deve ser inferior aos valores apresentados na Tabela 8, em relação a tensão nominal da instalação.

Tabela 8: Limites das quedas de tensão das instalações.

INSTALAÇÕES	ILUMINAÇÃO	OUTROS USOS
A – alimentadas diretamente por um ramal de baixa tensão, a partir de uma rede de distribuição de baixa tensão.	4%	4%
B – alimentadas diretamente por subestações de transformação ou transformador, a partir de uma instalação de alta tensão.	7%	7%
C – que possuem fonte própria	7%	7%

Em relação aos circuitos terminais tem-se:

- no caso A, a queda de tensão percentual não deve ser superior a 2%;
- nos casos B e C, as quedas de tensão dos circuitos terminais não devem ser superiores a 4%.

As Figuras 12 e 13 apresentam os limites da queda de tensão para uma alimentação proveniente em baixa e alta tensão, respectivamente.

Figura 12: Queda de tensão nas instalações alimentadas por rede de distribuição de baixa tensão.

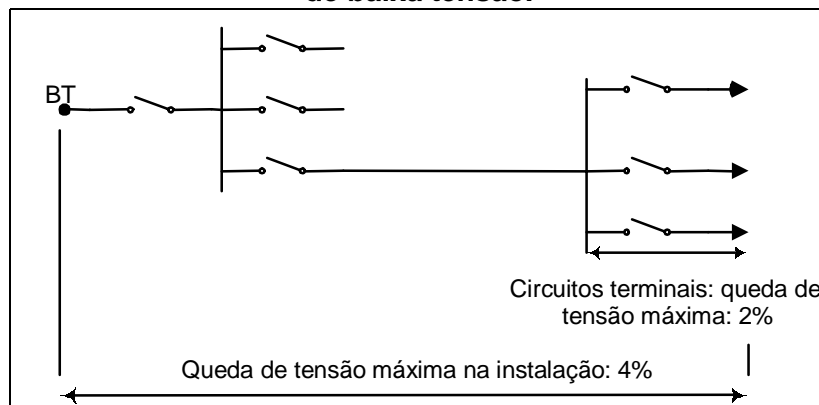
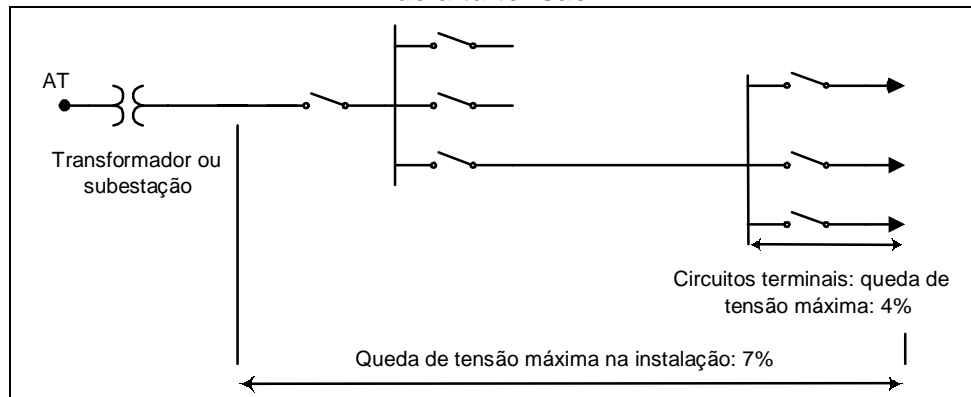


Figura 13: Queda de tensão nas instalações alimentadas por rede de distribuição de alta tensão.

A queda de tensão pode ser calculada, considerando toda a carga concentrada na extremidade do circuito, pela seguinte expressão:

$$\Delta U = k \cdot I_b \cdot L \cdot (r \cdot \cos \Phi + x \cdot \sin \Phi) \quad (3)$$

sendo:

ΔU = a queda de tensão do circuito [V];

I_b = corrente do projeto [A];

$\cos \Phi$ = fator de potência da carga;

r = resistência do condutor [Ω/km];

x = reatância do condutor [Ω/km];

L = comprimento do circuito [km];

k = constante que vale 1 para circuitos monofásicos e bifásicos e $\sqrt{3}$ para circuitos trifásicos.

Em um certo trecho de circuito, em se fixando o cabo (e também a forma de sua instalação, que define a reatância) e considerando-se o fator de potência, é possível tabelar o comprimento L em função da corrente de projeto I_b , para um dado valor de queda de tensão. Com isso é possível verificar se um certo circuito (ou trecho de circuito), com uma determinada corrente, constituído por um cabo dado, não transgride os limites de tensão preconizados por norma. Há referências que apresentam quedas de tensão calculadas para correntes e comprimentos unitários (denominada queda de tensão unitária). A Tabela 9 apresenta as quedas de tensão unitárias em V/A.km para dois valores de fator de potência (0,80 e 0,95). Assim, é possível calcular a queda de tensão a partir da corrente de projeto e do comprimento de cada circuito.

Tabela 9: Queda de tensão unitária em V/A.km

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

Por exemplo, um circuito de tensão nominal 127 V, com fios de seção 2,5 mm² instalados em eletrodutos não magnéticos, com uma carga de 10 A e comprimento de 50 m, e fator de potência de 0,95, pode ter sua queda de tensão avaliada do seguinte modo:

- da tabela 9 obtém-se o valor da queda de tensão unitária de 16,8 V/A.km (eletroduto não magnético, fator de potência 0,95).
- $\Delta U = \Delta U_{\text{unit}} (\text{tabela}) \cdot I_b \cdot L (\text{em km}) \Rightarrow \Delta U = 16,8 \cdot 10 \cdot 0,05 \Rightarrow \Delta U = 8,4 \text{ V}$
- $\Delta U\% = \frac{8,4}{127} \cdot 100 \Rightarrow \Delta U\% = 6,61\%$

As quedas de tensão dos alimentadores e dos circuitos terminais devem ser compostas para a obtenção da queda de tensão resultante.

Caso os níveis de tensão não forem respeitados com a utilização do condutor definido anteriormente, deve-se escolher um outro condutor de seção maior, de modo que esta condição seja satisfeita.

Uma outra maneira de se aplicar o critério da queda de tensão é calcular o valor da queda de tensão unitária a partir da seguinte expressão:

$$\Delta U_{\text{unit}} = \frac{\Delta U(\%) \cdot U}{I_b \cdot L} \quad (4)$$

sendo:

ΔU_{unit} = queda de tensão unitária do circuito (V/A.km);

$\Delta U\%$ = queda de tensão percentual admissível (estipulado por norma, em certas condições, pelo projetista);

U = tensão nominal do circuito [V];

I_b = corrente de projeto [A];
 L = comprimento do circuito [km]

Com o valor da queda de tensão unitária (ΔU_{unit}) calculado pela expressão (4), utiliza-se a Tabela 9 e encontra-se a seção do condutor cuja queda de tensão unitária seja igual ou imediatamente inferior à calculada.

Exemplo 9: Dimensionar os condutores para um chuveiro instalado em um eletroduto de PVC embutido em alvenaria, cujo comprimento do circuito é de 15,0 m. Utilizar condutores de cobre com isolamento PVC. Considere um único circuito no eletroduto, fator de potência de 1, temperatura ambiente de 30°C e queda de tensão admissível de 2%. Considere as seguintes situações: a) tensão de 127 V (F – N); b) tensão de 220 V (F – F).

Solução

Maneira de instalar: B5 (eletrodutos embutidos em alvenaria - Tabela 3).
 Dois condutores carregados – circuitos FF e FN

a) $U = 127 \text{ V}$

Cálculo da corrente de projeto:

$$I_b = \frac{5.400}{127} \Rightarrow I = 42,52 \text{ [A]}$$

Fator de correção da temperatura: $f_1 = 1,0$ (temperatura de 30°C).

Fator de correção de agrupamento: $f_2 = 1,0$ (um circuito no eletroduto).

Assim, $I_b' = I_b$

Com o valor de I_b consulta-se a Tabela 5 para determinar o valor da seção do condutor e obtém-se o condutor de 10 mm² (suporta correntes de até 52 A).

Deve-se verificar se a queda de tensão deste condutor está dentro das especificações ($\Delta U\% = 2,0\%$). Tem-se:

$$\Delta U_{unit} = \frac{0,02 \cdot 127}{42,52 \cdot 0,015} \Rightarrow \Delta U_{unit} = 3,98 \text{ V/A.km}$$

De posse desse valor, consulta-se a Tabela 9. Como o fator de potência é de 1,00, utiliza-se 0,95 na Tabela 9. Assim sendo, verifica-se que o condutor de 10 mm² apresenta um valor de queda de tensão unitário maior do que o calculado, não podendo ser utilizado. O cálculo seguinte demonstra essa afirmação:

- ΔU_{unit} (condutor de 10 mm²) = 4,23 V/A.km
- $\Delta U = \Delta U_{unit}$ (tabela) • I_b • L ;
- $\Delta U = 4,23 \cdot 42,52 \cdot 0,015 \Rightarrow \Delta U = 2,70 \text{ V}$;
- $\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \Rightarrow \Delta U\% = \frac{2,70}{127} \cdot 100 \Rightarrow \Delta U\% = 2,16\%$

O valor de $\Delta U\%$ é superior a 2%, não atendendo as especificações solicitadas.

Pela Tabela 5, o condutor de 16 mm² apresenta uma queda de tensão unitária de 2,68 V/A.km, valor inferior ao calculado, atendendo as especificações. O cálculo abaixo mostra a queda de tensão percentual desse condutor apenas para confirma a afirmação.

- ΔU_{unit} (condutor de 16 mm²) = 2,68 V/A.km (Tabela 7)
- $\Delta U = \Delta U_{\text{unit}}$ (tabela) • I_b • L ;
- $\Delta U = 2,68 \cdot 42,52 \cdot 0,015 \Rightarrow \Delta U = 1,71 \text{ V}$;
- $\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \Rightarrow \Delta U\% = \frac{1,71}{127} \cdot 100 \Rightarrow \Delta U\% = 1,35\% \Rightarrow$ atende as especificações.

b) 220 V

Cálculo da corrente de projeto:

$$I_b = \frac{5.400}{220} \Rightarrow I = 24,55 \text{ [A]}$$

Fator de correção da temperatura: $f_1 = 1,0$ (temperatura de 30°C).

Fator de correção de agrupamento: $f_2 = 1,0$ (um circuito no eletroduto).

Assim, $I_b' = I_b$

Com o valor de I_b consulta-se a Tabela 5 para determinar o valor da seção do condutor e obtém-se o condutor de 4 mm² (suporta correntes de até 30 A).

Deve-se verificar se a queda de tensão deste condutor está dentro das especificações ($\Delta U\% = 2,0\%$). Tem-se:

$$\Delta U_{\text{unit}} = \frac{0,02 \cdot 220}{24,55 \cdot 0,015} \Rightarrow \Delta U_{\text{unit}} = 11,95 \text{ V/A.km}$$

De posse desse valor, consulta-se a Tabela 9. Como o fator de potência é de 1,00, utiliza-se 0,95 na Tabela 9. Assim sendo verifica-se que o condutor de 4 mm² apresenta um valor de queda de tensão unitário menor do que o calculado (10,6 V/A.km), podendo ser utilizado.

Portanto tem-se:

- tensão de 127 V – condutores de 16 mm²;
- tensão de 220 V – condutores de 4 mm².

Exemplo 10: Dimensionar os condutores para um circuito que irá alimentar tomadas de potência total 2000 VA. Os condutores serão instalados em um eletroduto de PVC embutido em alvenaria, e o comprimento do circuito é de 19,0 m. Utilizar condutores de cobre com isolamento PVC. Considere um único circuito no eletroduto, fator de potência de 0,8 (tomadas de uso geral), temperatura ambiente de 30°C e queda de tensão admissível de 2%. A tensão nominal do circuito é de 127 V

Solução

Maneira de instalar: B5 (eletrodutos embutidos em alvenaria - Tabela 3).

Dois condutores carregados – circuito FN

Cálculo da corrente de projeto:

$$I_b = \frac{2000}{127} \Rightarrow I = 15,75 \text{ [A]}$$

Fator de correção da temperatura: $f_1 = 1,0$ (temperatura de 30°C).

Fator de correção de agrupamento: $f_2 = 1,0$ (um circuito no eletroduto).

Assim, $I_b' = I_b$

Com o valor de I_b , consulta-se a Tabela 5 para determinar o valor da seção do condutor e obtém-se o condutor de $1,5 \text{ mm}^2$ (suporta correntes de até 16,5 A).

Deve-se verificar se a queda de tensão deste condutor está dentro das especificações ($\Delta U\% = 2,0\%$). Tem-se:

$$\Delta U_{\text{unit}} = \frac{0,02 \cdot 127}{15,75 \cdot 0,02} \Rightarrow \Delta U_{\text{unit}} = 8,06 \text{ V/A.km}$$

De posse desse valor, consulta-se a Tabela 9, utilizando-se a coluna de fator de potência 0,8, eletroduto não metálico (PVC) e circuito monofásico. Da Tabela verifica-se que os condutores de $1,5$, $2,0$ e $4,0 \text{ mm}^2$ apresentam quedas de tensões unitárias superiores a $8,06 \text{ V/A.km}$, portanto não podendo ser utilizados. Já o condutor de 6 mm^2 possui queda de tensão unitária de $6,03 \text{ V/A.km}$, podendo ser utilizado.

Condutor adotado: 6 mm^2 .

Exemplo 11: Um circuito trifásico equilibrado de 220 V alimenta uma carga elétrica de 15 kW e fator de potência de 0,8. Dimensione os condutores desse circuito, instalados em um eletroduto de alumínio aparente juntamente com mais dois circuitos. Considere os seguintes dados:

Comprimento do circuito: 25 m;

Queda de tensão admissível: 2,5%;

Temperatura ambiente: 35°C ;

Utilizar condutores de cobre com isolamento PVC.

Solução

Maneira de instalar: B1 (eletroduto aparente - Tabela 3).

Três condutores carregados – circuito trifásico equilibrado

Cálculo da corrente de projeto:

$$I_b = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 220} \Rightarrow I = 39,36 \text{ [A]}$$

Fator de correção da temperatura: $f_1 = 0,94$ (temperatura de 35°C).

Fator de correção de agrupamento: $f_2 = 0,7$ (três circuitos no eletroduto).

Cálculo da corrente fictícia de projeto (I_b'):

$$I_b' = \frac{39,36}{0,94 \cdot 0,7} \Rightarrow I_b' = 59,82 \text{ [A]}$$

Com o valor de I_b' consulta-se a Tabela 5 para determinar o valor da seção do condutor e obtém-se o condutor de 16 mm^2 (suporta correntes de até 68 A).

Deve-se verificar se a queda de tensão deste condutor está dentro das especificações ($\Delta U\% = 2,5\%$). Tem-se:

$$\Delta U_{\text{unit}} = \frac{0,025 \cdot 220}{39,36 \cdot 0,025} \Rightarrow \Delta U_{\text{unit}} = 5,59 \text{ V/A.km}$$

De posse desse valor, consulta-se a Tabela 9, utilizando-se a coluna de fator de potência 0,8, eletroduto não metálico (PVC) e circuito trifásico. Da Tabela verifica-se que, pelo critério da queda de tensão, poderiam ser utilizados condutores de 10 mm² (3,67 V/A.km). Porém, pelo critério da corrente admissível determinou-se um condutor de 16 mm², valor que será adotado.

Condutor adotado: 16 mm².